

Changement climatique et agriculture

Une sélection des **compétences** du Cirad



> Sommaire

Modifier nos habitudes (E. Torquebiau, Chargé de mission changement climatique)

Répondre au stress climatique

S'adapter à la chaleur – L'exemple du riz (T. Lafarge, UMR Agap)

Résister à des salinités croissantes – Le cas des tilapias (JF. Baroiller, UMR ISEM)

Résister à des salinités croissantes – Le cas des agrumes en Méditerranée
(R. Morillon, UMR Agap)

Améliorer l'adaptation à la sécheresse en Afrique – Exemples du cotonnier, de l'arachide et du sorgho (J-M. Lacape, D. Foncéka, M. Vaksman, UMR Agap)

Bioagresseurs des cultures tropicales – Des phénomènes nouveaux liés au changement climatique (R. Goebel, UR Aïda ; C. Cilas, UR Bioagresseurs)

Emergence ou ré-émergence des maladies vectorielles – Le climat, un facteur parmi tant d'autres ? (V. Chevalier, A. Tran, UR AGIRs)

Systèmes de cultures annuelles et changement climatique (E. Géraudeau, UR Aïda)

A la recherche de nouvelles pratiques

Durabilité de l'élevage et changement climatique – Accompagner l'adaptation
(A. Ickowicz, M. Vigne, UMR Selmet)

Gestion des territoires hydrologiques – Un enjeu planétaire pour la recherche en partenariat (O. Barreteau, S. Farolfi, UMR G Eau)

La valorisation des déchets organiques – Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre
(J-L. Farinet, UR Recyclage et risque ; E. Tillard, UMR Selmet)

Forêts tropicales humides – Comment résister au changement climatique
(B. Hérault, UMR Ecofog ; S. Gourlet-Fleury, UR BSEF)

L'écologie fonctionnelle – Caractériser les services rendus par les forêts plantées
(J-P. Laclau, UMR Eco&Sols)

Améliorer les systèmes agroforestiers en zone tropicale humide – Le cas des cacaoyers et des caféiers (D. Snoeck *et al.*)

Le bois – une bio-énergie de substitution aux énergies fossiles
(L. Gazull, UR BSEF ; F. Pinta, UR BioWooEB)

Stimuler des transformations

Stratégies et politiques sanitaires dans le contexte « One Health » (F. Roger, UR AGIRs)

Les services écosystémiques – Des instruments économiques et politiques uniques
(D. Pesche *et al.*)

L'analyse de cycle de vie – Elucider les liens entre agriculture et environnement
(C. Bessou *et al.*, Cellule ACV)

Introduction

Modifier nos habitudes

Les interactions entre l'agriculture et le changement climatique s'analysent au microscope comme au microscope, du génome aux relations internationales. S'adapter au changement climatique tout en l'atténuant est un exercice compliqué et les référentiels scientifiques disponibles sont incomplets. Les meilleures techniques ne pourront rien sans un cadre politique, financier et institutionnel porteur permettant d'atteindre la résilience des démarches de production agricole mais aussi de l'ensemble du système alimentaire.

> Incertitude maximum

Dans les pays du Sud, les modèles de simulation du climat futur ne permettent pas de faire des hypothèses solides et de nombreuses variations climatiques locales sont probables. La situation de pauvreté prévalente dans ces pays aggrave l'incertitude à laquelle la recherche doit faire face. Vers 2050, la majorité des pays africains auront des climats actuellement inconnus sur plus de la moitié de leur surface cultivable. L'équation idéale est la suivante : « adaptation + atténuation + sécurité alimentaire » mais en trouver la solution suppose de disposer d'informations climatiques fiables et de compétences confirmées pour pouvoir minimiser les risques face à l'aléa climatique. Pourtant, le savoir-faire agricole dispose d'un registre d'options dites « durables » qui permettent de répondre au défi climatique. Encore faut-il intégrer qu'il s'agit d'une rupture physique et biologique inconnue dans l'histoire de l'humanité et que d'authentiques innovations sont requises.

> Ne pas séparer adaptation et atténuation

L'adaptation au changement climatique est bien légitimement la préoccupation première du secteur agricole des pays du Sud. Mais on sait désormais que le secteur des terres émet de grandes quantités de gaz à effet de serre et qu'on peut diminuer ces émissions en modifiant l'usage des terres, l'alimentation du bétail ou la gestion des rizières. On sait aussi qu'une gestion résiliente des terres agricoles adaptée à l'aléa climatique permet de stocker énormément de carbone dans le sol et la biomasse et de compenser ainsi des émissions. Ceci permet d'atténuer le changement climatique tout en s'y adaptant. Cette synergie est d'autant plus vertueuse que l'on conçoit l'innovation au niveau de paysages hétérogènes dans lesquels il est plus facile de faire usage des fonctions régulatrices de la nature qu'à l'échelle d'une plante ou d'une parcelle. Si adaptation et atténuation ont été jusqu'à maintenant séparées dans les initiatives de lutte contre le dérèglement climatique, c'est pour des raisons institutionnelles et politiques de fait en contradiction avec de nombreuses pratiques agricoles.

> S'assurer d'un bon diagnostic

La zone tropicale couvre environ 134 pays, 80 % de la biodiversité terrestre et 40 % de la surface de la planète et de la population mondiale, mais notre compréhension des mécanismes physiques du changement climatique et de son impact sur les systèmes biologiques et alimentaires de cette zone est imparfaite. Des combinaisons inédites de différents stress peuvent se présenter, par exemple la simultanéité entre une augmentation de CO₂ et de température avec un régime pluviométrique perturbé. Les modèles mathématiques capables de simuler de telles conditions pour l'agriculture familiale des pays du Sud ne sont pas disponibles. Alors qu'on peut trouver des analogies climatiques avec les climats du futur dans la zone tempérée en se déplaçant en altitude ou en latitude, de telles analogies sont beaucoup plus difficiles en zone tropicale. Nous devons donc approfondir l'analyse du changement climatique et de son impact afin de concevoir des innovations en lien avec la réalité des sociétés du Sud

et en valorisant l'expérience millénaire des agriculteurs. Notre diagnostic doit aussi porter sur les politiques publiques disponibles, les institutions et les financements de l'agriculture afin de proposer des changements dans ces domaines.

> Imaginer une agriculture résiliente

L'agriculture « climato-intelligente » (climate-smart agriculture) associe la sécurité alimentaire, l'adaptation au changement climatique et son atténuation. Pour être résiliente, elle doit être fondée sur les mécanismes écologiques à l'œuvre dans les cycles biologiques et écosystémiques observés dans la nature. C'est le domaine de l'intensification écologique, qui s'écarte de l'artificialisation du milieu et des économies d'échelle voulues par l'agriculture industrielle. A l'inverse, il faut encourager la diversité, le respect des équilibres naturels et la protection des ressources de la planète à long terme. Quelques grands thèmes peuvent illustrer cette démarche, par exemple la multifonctionnalité de l'agriculture, l'association entre adaptation et atténuation dans des paysages polyvalents, la sélection et l'amélioration basée sur des critères de résilience, l'étude des effets du changement climatique sur les bioagresseurs, la lutte contre les pertes en eau agricole, la lutte contre le gaspillage alimentaire, les recherches sur les cultures orphelines et mieux adaptées au milieu.

L'agriculture subit le changement climatique mais peut aussi contribuer à sa solution. Elle est la seule activité humaine qui peut réduire ses émissions et fixer du carbone tout en contribuant à la sobriété carbone de secteurs tels que l'énergie ou la construction grâce à la production de biomasse. Nul doute que l'usage que l'homme fera des terres rurales sera l'une des grandes affaires du 21^e siècle.

Les fiches présentées dans cette brochure sont une sélection des compétences et résultats du Cirad sur la question du changement climatique. Elles concernent l'adaptation au stress climatique, l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre et l'absorption du carbone, ainsi que différentes innovations en matière de pratiques agronomiques, politiques publiques ou réglementations.

Emmanuel Torquebiau

Chargé de mission Changement climatique

Cirad, UR AïDA, Agroécologie et intensification durable
des cultures annuelles, Montpellier, France

emmanuel.torquebiau@cirad.fr

Pour en savoir plus

Dossier web :

<http://www.cirad.fr/nos-recherches/themes-de-recherche/changement-climatique-et-agriculture>

Ouvrage :

Torquebiau E., 2015. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, 328 pages.

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

S'adapter à la chaleur

L'exemple du riz



Anthèse d'une panicule de riz,
IRRI, Philippines. © T. Lafarge/Cirad

En riziculture, les augmentations de température sont source de stérilité. Pour maintenir les rendements, adapter les processus de floraison à la chaleur devient ainsi un enjeu majeur. Les chercheurs du Cirad travaillent à la mise au point de variétés capables, à floraison : d'échapper à la chaleur (précocité de l'heure de l'anthèse), de l'éviter (refroidissement de la panicule par transpiration) ou de la tolérer (présence de gènes d'intérêt). Par la voie de la modélisation, ils ont montré que les pistes principales d'amélioration génétique relèvent davantage de l'évitement et de la tolérance, alors que l'échappement implique plutôt l'ajustement des pratiques culturales, essentiellement la date de semis. Cette démarche intégrative est un bon exemple de la stratégie mise en oeuvre en écophysiologie.

Contacts

Tanguy Lafarge
Cirad, UMR AGAP
Montpellier, France
tanguy.lafarge@cirad.fr
<http://umr-agap.cirad.fr>

Les risques de stérilité : évolution du climat et des pratiques culturales

Dans la vallée du fleuve Sénégal, les températures de l'air élevées lors de la floraison peuvent réduire la fertilité des plantes. Dès 1995, des fenêtres optimales de semis minimisant les risques climatiques avaient été déterminées grâce au modèle RIDEV, développé par AfricaRice. Mais l'analyse des relevés météorologiques montre que les températures ont augmenté et que le climat actuel (2001-2012) est différent de celui de la période de référence. L'actualisation nécessaire des recommandations implique de revoir ce modèle. Dans ce but, le Cirad a mis en place un réseau d'essais expérimentaux (Sénégal, Philippines et Camargue) générant des combinaisons distinctes entre facteurs climatiques sur du matériel végétal contrasté pour la taille, le port et la durée de cycle, le niveau de tolérance et le potentiel de rendement.



Enquête à Seriballi, Office du Niger, Mali.
© A-B. Baldé/AfricaRice

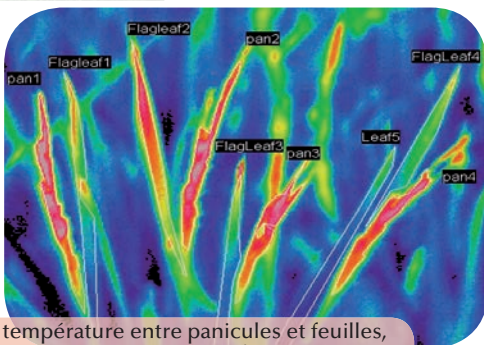
L'adaptation par échappement : précocité de l'heure du jour de l'anthèse

L'anthèse est le stade de développement le plus sensible à la température élevée. Pour un épillet donné, elle se déroule uniquement le matin et ne dure pas plus de 2 heures. Grâce à leur réseau d'essais, les chercheurs ont montré que l'heure de l'anthèse est principalement corrélée à la moyenne de deux variables climatiques, calculée sur les 7 jours précédant la floraison : la température minimale et l'humidité relative de l'air. Une température élevée et une forte humidité de l'air avancent le déroulement de l'anthèse vers les heures précoces du matin. À l'opposé, l'anthèse est plus tardive si les conditions sont plutôt fraîches et sèches. Ce comportement traduit un phénomène d'adaptation par échappement aux températures élevées.

L'adaptation par évitement : refroidissement de la panicule par transpiration

La transpiration de la panicule entraîne son propre refroidissement par consommation d'énergie. Simultanément, l'absorption du rayonnement solaire provoque son réchauffement. Les chercheurs ont mesuré les températures des panicules par images infrarouges et montré que la température de la panicule peut être inférieure ou supérieure de plusieurs degrés à celle de l'air selon les conditions climatiques. L'analyse réalisée dans le dispositif multilocal a révélé qu'elle est principalement corrélée à l'humidité relative de l'air. Ainsi, le taux de stérilité des épillets est corrélé à la température de la panicule à floraison, et non à celle de l'air. Les relations obtenues permettent de prédire une stérilité dès que la température de panicule atteint 30°C, qui s'élève à 50 % entre 33 et 34°C.

Prise de photo infrarouge,
IRRI, Philippines. © T. Lafarge/Cirad



Gradient de température entre panicules et feuilles,
IRRI, Philippines. © C. Julia/Cirad

L'adaptation par tolérance : des gènes maintenant la fertilité malgré la chaleur

La recherche de gènes impliqués dans la tolérance à la chaleur au stade floraison a été conduite par une étude des corrélations statistiques entre les variations du génotype et celles du phénotype de 167 variétés traditionnelles à modernes. L'analyse statistique du déterminisme génétique du taux de stérilité des variétés à 37°C a détecté 91 associations significatives, regroupées en 12 régions indépendantes sur 8 chromosomes. La tolérance à la chaleur la plus élevée a été détectée chez deux variétés, l'une originaire d'Inde, l'autre de Taïwan. Les segments du génome détectés ouvrent la voie au clonage des gènes impliqués et à la mise en œuvre d'un programme de sélection assistée par marqueurs moléculaires pour la tolérance à la chaleur.



Couvert de riz à maturité, Changsha,
Chine. © T. Lafarge/Cirad

Un outil pour prédire les rendements

Une nouvelle version du modèle, RIDEV_V2, a été développée par le Cirad en partenariat avec AfricaRice : elle simule bien les évolutions du taux de stérilité du couvert selon les dates de semis en intégrant les variables identifiées pour l'échappement et l'évitement. Cette version améliorée rend possible la conduite d'exercices de simulation pour concevoir de meilleurs phénotypes, avec un fort potentiel de rendement et une capacité élevée de tolérance à la chaleur. Ces avancées vont également permettre de valider de nouvelles fenêtres de semis qui éviteraient les périodes climatiques les plus risquées pour la fertilité de cette culture alimentaire majeure.

Partenaires

Africa Rice (CGIAR), Bénin ; IRRI, International Rice Research Institute (CGIAR), Philippines ; CFR, Centre français du riz, France.

CGIAR Research Programmes : CRP GRISP, Global Rice Science Partnership ; CRP CCAFS, Climate Change for Food Security.

► En savoir plus

Lafarge T., Julia C., Baldé A., Ahmadi N., Muller B., Dingkuhn M., 2015. Stratégies d'adaptation du riz en réponse à la chaleur au stade de la floraison. In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p 37-49

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Résister à des salinités croissantes

Le cas des tilapias



Hybride *Molobicus* de 7^e génération tolérant la salinité et à forte croissance.
© H. D'Cotta/Cirad

L'élévation du niveau des mers et l'augmentation de la fréquence des typhons ont pour effet d'accroître la salinité de certains écosystèmes aquatiques et terrestres. C'est l'une des conséquences actuelles majeures du changement climatique. La préservation de l'eau douce devient ainsi un enjeu primordial pour la sécurité alimentaire. Pour les poissons d'élevage, cela implique de pouvoir proposer aux éleveurs des espèces et des souches adaptées aux contraintes de demain.

Contact

Jean François Baroiller

Cirad-UMR ISEM,
Institut des sciences de l'évolution
de Montpellier
Montpellier, France
jean-francois.baroiller@cirad.fr

www.isem.univ-montp2.fr

Le groupe des tilapias

Les tilapias (parfois appelés « poulets aquatiques ») sont produits dans plus de 100 pays (4,3 millions de tonnes en 2013). Ils constituent le groupe majeur de poissons d'aquaculture, après celui des carpes, produites et consommées en Chine. D'origine africaine, essentiellement présents dans les eaux douces, ils sont représentés par de nombreuses espèces. Le tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus*, dont la croissance est la plus rapide en eau douce, couvre environ 90 % de la production, mais supporte mal la salinité. Inversement, *O. mossambicus* (le tilapia du Mozambique) et *Sarotherodon melanotheron* (un tilapia lagunaire) présentent de fortes tolérances aux variations de salinité (euryhalinité), mais de faibles croissances.

Conjuguer forte tolérance et forte productivité

Trois types d'approches peuvent être mises en œuvre pour sélectionner des souches tolérantes à forte croissance dans différentes conditions de salinité : 1) utiliser la forte tolérance à la salinité d'espèces naturellement



Dispositif expérimental du BFAR aux Philippines pour le projet Molobicus. © H. D'Cotta/Cirad

adaptées et mettre en place un schéma d'amélioration de leur croissance en milieu salé ; 2) utiliser la forte croissance du tilapia du Nil et améliorer sa tolérance à la salinité ; 3) cumuler les deux caractères par hybridation entre le tilapia très tolérant du Mozambique et le tilapia du Nil à forte croissance. Les chercheurs de l'UMR Isem et leurs partenaires du Sud développent cette troisième approche dans le cadre du projet Molobicus, soutenu par l'ambassade de France aux Philippines, qui a permis de produire deux lignées productives tolérantes à la salinité.

Parallèlement, en utilisant des approches d'écophysiologie et de génomique, ils mènent des recherches pour comprendre les mécanismes d'adaptation au stress salin.

Le but est d'obtenir des marqueurs génétiques de tolérance à la salinité, qui permettront d'identifier des espèces ou des populations d'intérêt dans le milieu naturel et d'optimiser la sélection. Plus particulièrement, il s'agit de :

- comprendre les mécanismes d'osmorégulation (rôle et ratios des différents ions impliqués, en particulier Cl^- et Na^+) dans les organes dédiés ;
- comparer l'impact de l'adaptation à la salinité de différentes espèces, ou hybrides, sur la reproduction et la croissance ;
- analyser la faisabilité et les conséquences d'un transfert du caractère de tolérance d'une espèce vers une autre par une approche d'hybridation ;
- identifier des marqueurs moléculaires de tolérance qui seront utilisés pour l'identification d'espèces, populations, familles et pour la sélection.

Les génomes du tilapia du Nil, ainsi que ceux de 4 autres espèces de cichlidés (famille à laquelle appartient le tilapia) ont été séquencés par le Cichlid Genome Consortium (CGC), dont fait partie le Cirad. Disposer du génome de tilapia est d'un intérêt majeur pour analyser et comprendre les déterminants de nombreux caractères d'intérêt aquacole. Le projet franco-israélien Maïmonide « Salinity Stress Project » vise ainsi à identifier des marqueurs de tolérance à la salinité de deux espèces de tilapia (*O. niloticus* et *O. mossambicus*) et de leurs hybrides.

Coût énergétique, salinité et contrôle du sexe

En eau douce, les femelles, qui doivent constituer d'importantes réserves vitellines pour le développement de l'embryon, présentent de plus faibles taux de croissance que les mâles. Or l'adaptation à la salinité repose sur des mécanismes d'osmorégulation, qui ont un coût métabolique important pour le poisson. Les mâles disposant de davantage d'énergie pour l'adaptation à la salinité que les femelles, le contrôle du sexe s'avère donc doublement intéressant en eau salée.

Différentes méthodes sont utilisées pour produire des populations exclusivement composées de mâles. Afin de trouver une alternative aux pratiques hormonales, qui soulèvent de nombreuses questions, le Cirad propose deux approches : l'une environnementale, qui repose sur l'effet masculinisant des fortes températures, l'autre génétique, qui passe par l'utilisation de géniteurs à descendance monosexes mâles, les mâles YY.

Des marqueurs moléculaires pour un sexage phénotypique précoce ont été identifiés et validés dans le cadre d'un projet ANR-Emergence (SexTil) pour la production de kits commercialisables.

Ces kits vont permettre notamment d'accélérer la production de mâles YY et de sélectionner des géniteurs à descendance thermosensibles pour un contrôle du sexe sans hormone.

Associer les producteurs

Toutefois, la réflexion ne peut se faire uniquement en terme biologique et doit prendre en compte des critères économiques et sociétaux pour que, *in fine*, les activités humaines impactent le moins possible les écosystèmes. De même, les innovations proposées par la recherche peuvent impliquer de repenser les pratiques d'élevage. Il est donc nécessaire que les utilisateurs soient fortement associés à l'évaluation de ces nouveaux génotypes.



Femelle *Molobitic* incubant des œufs. © H. D'Cotta/Cirad



Les tilapias rouges hybrides sont souvent utilisés pour les élevages en eau salée (ici, à Bangkok).
© H. D'Cotta/Cirad

Partenaires

Agricultural Research Organization, Israël ; BFAR, Bureau of Fisheries and Aquaculture Research, Philippines ; Broad Institute Boston, Etats-Unis ; Ifremer, France ; Inra, France ; IRD, France ; UMR-MARBEC et université Montpellier II, France ; université de Zürich, Suisse ; WorldFish Penang, Malaisie.

➤ En savoir plus

Ahmadi N., Baroiller J-F., D' Cotta H., Morillon R., 2015. Adaptation à la salinité. In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p.50-62.

De Veral H. et al., 2014. Response to selection for growth in an interspecific hybrid between *Oreochromis mossambicus* and *O. niloticus* in two distinct environments. *Aquaculture*, 430: 159-165.

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Résister à des salinités croissantes



Pollinisation d'un oranger, Maroc. © C. Rollin/Cirad

Le cas des agrumes en Méditerranée

Originaires des régions tropicales et subtropicales asiatiques, les agrumes sont cultivés dans toutes les régions chaudes et le plus souvent en irrigation, comme c'est le cas sur l'ensemble du pourtour du Bassin méditerranéen. Or sur la rive sud de la Méditerranée, par exemple, les ressources en eau sont de plus en plus limitées. Les besoins en eau y sont tels que l'on

assiste à un abaissement des nappes

phréatiques et à une augmentation de la teneur en sel, qui impacte d'ores et

déjà l'agriculture. La recherche développe des connaissances sur les mécanismes d'adaptation au stress salin afin d'orienter efficacement les schémas d'amélioration et, *in fine*, de proposer aux agriculteurs des géotypes plus adaptés.

Contact

Raphaël Morillon
Cirad, UMR AGAP,
IVIA - Centro de Genomica
Valencia, Espagne
raphael.morillon@cirad.fr
<http://umr-agap.cirad.fr/>

Les agrumes font partie des ligneux les plus sensibles au stress salin. Une meilleure adaptation à la salinité implique 1) de gérer au mieux les pratiques d'irrigation afin de limiter la remontée des sels dans le sol, 2) de disposer de porte-greffes capables de limiter l'absorption des ions Na^+ et Cl^- au niveau racinaire, 3) de disposer de variétés à greffer mettant en œuvre des mécanismes physiologiques et moléculaires permettant de limiter l'impact des ions toxiques.

Les travaux du Cirad associent écophysiologie et sélection pour :

- comprendre les mécanismes de la sensibilité et de l'adaptation au sel (rôle et ratios des différents ions K^+ , Na^+ , Cl^- , ajustement osmotique, effets morphologiques), déclenchement d'un stress oxydatif, systèmes de détoxication...
- analyser les mécanismes d'adaptation des différentes espèces à la salinité ;
- identifier des gènes candidats à la sélection et des marqueurs génétiques ;
- sélectionner des variétés tolérantes et productives dans différentes conditions de salinité.

Mettre au point des variétés tolérantes

Les agrumes sont constitués par trois genres botaniques principaux sexuellement compatibles : *Citrus*, *Poncirus* et *Fortunella*. La plupart des porte-greffes actuellement utilisés appartiennent aux genres *Citrus* et *Poncirus*, ou sont des hybrides obtenus par croisement entre ces deux genres. Les variétés fruitières les plus cultivées (orangers, mandariniers, citronniers, pomelos et limetiers) appartiennent toutes au genre *Citrus*.



Plantation d'agrumes sous file. © Y. Froelicher/Cirad

Porte-greffes

Actuellement, plusieurs créations réalisées par le Cirad sont en évaluation et devraient aboutir à l'élargissement de la gamme des porte-greffes. Par rapport au stress salin, trois groupes principaux ont été identifiés : un groupe tolérant avec le bigaradier et le mandarinier « Cléopâtre » qui sont considérés comme bien adaptés aux contraintes abiotiques, un groupe sensible avec le Rough Lemon et le citrange Carrizo, et enfin un groupe très sensible représenté par les *Poncirus* (*Poncirus trifoliata*).

La sensibilité est essentiellement dûe aux ions Cl^- . Le contenu en Cl^- dans les feuilles est ainsi un bon critère pour évaluer les propriétés de sensibilité au sel des semis.

► Le mandarinier « Cléopâtre », en combinaison hybride avec *Poncirus*, est utilisé dans les programmes de sélection pour sa tolérance aux stress biotiques et abiotiques aux niveaux tant diploïde que diploïde doublé ou allotétraploïde.

► Les porte-greffes tétraploïdes sont plus tolérants que les diploïdes respectifs, sans doute en raison de leurs meilleures capacités de compartimentation et de détoxification des ions Cl^- et Na^+ .

Greffons

Une autre manière d'aborder le problème consiste à évaluer non pas les propriétés de tolérance au sel des porte-greffes, mais celles des variétés fruitières (greffons) nouvellement créées.

► Plusieurs milliers de variétés de triploïdes sont en cours d'évaluation avec des partenaires privés. La tolérance au sel des variétés préselectionnées pour leur qualité gustative va être initiée.

Diversité génétique

► Une analyse récente des comportements physiologiques aux stress salins de génotypes représentatifs de la diversité permet d'envisager de nouvelles sources de tolérance tant au niveau des porte-greffes qu'au niveau des variétés.

Partenaires

Inra, Institut national de la recherche agronomique, France ;
IVIA, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias,
Espagne ; INAT, Institut national agronomique de Tunisie .
Partenaires privés : Agromillora, Espagne ; Domaine Abbès
Kabbage, Maroc.

Fiche réalisée avec le soutien du projet CTPS - AAP12 n°3 / C2012-01

► En savoir plus

Nourollah A., Baroiller JF., D'Cotta H., Morillon R., 2015.
Adaptation à la salinité. In: Torquebiau E. *Changement
climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures
et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p. 50.-62.

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Associer les utilisateurs

Un effort très important est fait pour pouvoir proposer des génotypes plus adaptés à la contrainte saline. Toutefois, la réflexion ne peut se faire uniquement en termes biologiques, mais doit également être économique et sociétale pour que, *in fine*, les activités humaines limitent au maximum l'impact de cette contrainte sur les écosystèmes. De même, les innovations proposées par la recherche peuvent impliquer de repenser les pratiques agricoles. Il est donc nécessaire que les utilisateurs soient fortement associés à l'évaluation de ces nouveaux génotypes.

Effets du stress salin sur différents agrumes.

© F. Luro/Inra

1. Mandarinier Cléopâtre : pas de symptôme – plant et fruit



2. Pomelo : chute des feuilles et nouvelles pousses – plant et fruit



3. Cédrat : feuilles et branches nécrosées – plant et fruit



Améliorer l'adaptation à la sécheresse en Afrique

Exemples du cotonnier, de l'arachide et du sorgho



Reprise de végétation
sur un sol craquelé.
© A. Rival/Cirad

Produire des variétés plus résilientes aux conditions adverses du milieu est un défi pour les généticiens. La sélection s'appuie d'une part sur l'exploration d'une large diversité génétique au sein des types cultivés et des espèces sauvages apparentées et, d'autre part, sur la mise en œuvre de tests de criblage sur des caractères adaptatifs. Les approches pluri-disciplinaires associant l'écophysiologie, la génétique

et la sélection assistée par marqueurs (SAM) permettent de définir des idéotypes variétaux combinant des caractères d'adaptation et de productivité et répondant aux grands enjeux de demain.

Contacts

Coton : Jean-Marc Lacape
marc.lacape@cirad.fr

Arachide : Daniel Foncéka
daniel.fonceka@cirad.fr

Sorgho : Michel Vaksman,
michel.vaksman@cirad.fr

Cirad, UMR Agap, Amélioration
génétique et adaptation des plantes
méditerranéennes et tropicales
Montpellier, France
<http://umr-agap.cirad.fr>

Diversité des cotonniers sauvages et cultivés

L'adaptation des plantes cultivées à la sécheresse relève de 3 stratégies : l'échappement, par l'ajustement du cycle de développement ; l'évitement du dessèchement, par le contrôle des pertes en eau et/ou le maintien de son absorption ; la tolérance, par l'aptitude de la plante à surmonter une dégradation de son état hydrique. En amélioration des plantes, la sélection assistée par marqueurs (SAM) qui consiste à caractériser simultanément le génotype, à l'aide de marqueurs de l'ADN, et la réponse de la plante en conditions contrastées (stressée *versus* non stressée) permet d'identifier des régions du génome impliquées, ou QTL (*quantitative trait locus*) et de sélectionner les descendances de façon indirecte.

Le cotonnier, l'arachide et le sorgho, espèces d'importance majeure en Afrique et dans le monde, illustrent les pistes de recherche explorées par le Cirad et ses partenaires.

Des populations de cotonniers pérennes de *Gossypium hirsutum* de Mésoamérique et de Caraïbe ont été décrites et géoréférencées : sur 950 populations, une centaine sont des cotonniers sauvages inféodés à des environnements côtiers fortement contraints par la disponibilité en eau ou le stress salin. Ces populations sauvages représentent un réservoir de gènes de tolérance aux stress du milieu pour l'amélioration du cotonnier cultivé, *G. hirsutum*.

Des études de génétique d'association sont en cours à l'Embrapa, au Brésil, et au Cirad, soutenues par la Fondation Agropolis, pour étudier la réponse au déficit hydrique au sein du pool cultivé de *G. hirsutum*. Un panel de 250 variétés d'origines diverses fait l'objet de caractérisations morphologiques et physiologiques en conditions contrôlées, d'une part à l'aide de rhizotrons (analyse du système racinaire) et, d'autre part, sur un dispositif de mesures à haut débit de l'Inra à Montpellier (plateforme Phenoarch).



Etude du système racinaire
du cotonnier en rhizotron
© M. Giband/Cirad.

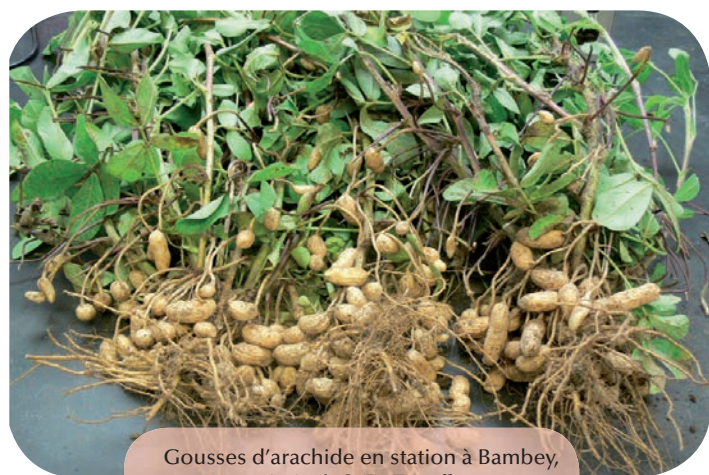
L'apport des lointains parents de l'arachide

Au Sénégal, les travaux de l'Isra et du Cirad sur la tolérance à la sécheresse de l'arachide ont abouti à la création en 1989 du Ceraas, Centre d'études régional pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse, qui fédère les efforts de recherche à l'échelle régionale.

Le Cirad, le Ceraas, le CNRA, Centre national de recherche agronomique de Bambey et l'Embrapa (Brésil) ont développé un programme d'élargissement de la base génétique de l'arachide cultivée par hybridation avec des espèces sauvages du genre *Arachis* pour leurs caractères d'adaptation (maladies, stress du milieu). La variété Fleur11 et un hybride tétraploïde synthétique entre 2 espèces diploïdes sauvages, *A. duranensis* et *A. ipaensis*, ont été utilisés dans la construction assistée par marqueurs de populations pour produire :

► une population « AB-QTL » (*Advanced Backcross-QTL*) qui a servi à cartographier de nombreux QTL impliqués dans la morphologie et le rendement en conditions de stress hydrique ;

► une population « CSSL » (lignées de substitution de segments chromosomiques), constituée de lignées très proches du génome cultivé, intégrant chacune un petit segment chromosomique d'origine sauvage, et utilisée dans plusieurs programmes d'amélioration génétique de l'arachide (Sénégal, Mali, Niger, Malawi, Inde et Brésil).



Gousses d'arachide en station à Bambey, Sénégal. © D. Foncéka

Sorgho : le partage des savoirs

Les paysans africains possèdent une longue expérience dans la gestion du régime irrégulier des pluies, dont la plus spectaculaire réside dans l'exploitation du photopériodisme. Le caractère photopériodique permet notamment la synchronisation de la floraison avec la fin de la saison des pluies, indépendamment de la date de semis. Il a pour effet d'atténuer les effets de la variabilité climatique en cas de sécheresse ou d'excès d'eau et d'éviter de nombreuses contraintes biotiques (insectes, oiseaux et moisissures). Les programmes d'amélioration du sorgho du Cirad intègrent la large base génétique des variétés existantes pour concilier le potentiel de production des variétés modernes et les qualités propres aux variétés locales. Un projet de sélection récurrente assistée par les marqueurs moléculaires est en cours au Mali et une vaste population expérimentale, intégrant des variétés locales et modernes, a été développée. Un QTL majeur de photopériodisme a récemment été mis en évidence et permet d'envisager le développement de variétés spécifiquement adaptées à la variabilité climatique de l'Afrique soudano-sahélienne.



Variété malienne Keninkeni développée par l'IER, les organisations paysannes (AOPP) et le Cirad. © Cirad

Perspectives

Ces travaux de recherche en amélioration génétique du Cirad soulignent l'importance d'une exploitation de la diversité la plus large possible existant au sein des ressources végétales apparentées aux espèces cultivées.

Partenaires

Cotonnier : Embrapa, IMAmt, Brésil ; UMR Cefe, Fondation Agropolis, France ; **Arachide** : Ceraas, CNRA, Sénégal ; Embrapa, Brésil ; Icrisat (CGIAR) ; **Sorgho** : NARS (IER, ISRA, INERA...), Icrisat, GCP, Fondation Syngenta, ONG (AMEED...) Ceraas, Fondations Agropolis et Cariplo (Biosorg).

► En savoir plus

Lacape J.-M. et al., 2015. Amélioration de l'adaptation des cultures à la sécheresse en zone de savane africaine. In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p. 63-74

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Bioagresseurs des cultures tropicales

Des phénomènes nouveaux liés au changement climatique



Larve de *C. sacchariphagus*,
foreur de tiges de la canne à sucre
© R. Goebel/Cirad

Le changement climatique modifie le comportement des bioagresseurs et leur distribution. Les risques que la pression phytosanitaire s'accroisse du fait des perturbations sur l'environnement et les agrosystèmes sont réels et inquiètent l'ensemble des acteurs agricoles, en particulier dans les pays tempérés où les introductions de nouveaux ravageurs, maladies et adventices sont légion.

Contacts

François-Régis Goebel

Cirad, UPR Aïda, Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles
Montpellier, France
francois-regis.goebel@cirad.fr
<http://ur-aida.cirad.fr>

Christian Cilas

Cirad, UPR Bioagresseurs :
analyse et maîtrise du risque
Montpellier, France
christian.cilas@cirad.fr
<http://ur-bioagresseurs.cirad.fr>

En milieu tropical, l'impact du changement climatique sur les populations de bioagresseurs et leurs ennemis naturels est plus difficile à appréhender qu'en zone tempérée, et plus complexe. On observe des changements de statut de ravageurs, des introductions, des développements fulgurants de maladies ou d'insectes et une extension des aires de répartition. Les bioagresseurs sur lesquels le Cirad travaille permettent déjà d'appréhender les adaptations au climat et de proposer de nouvelles stratégies de protection agroécologique, en favorisant la conservation des services de régulation naturelle pour diminuer de façon durable les risques phytosanitaires.

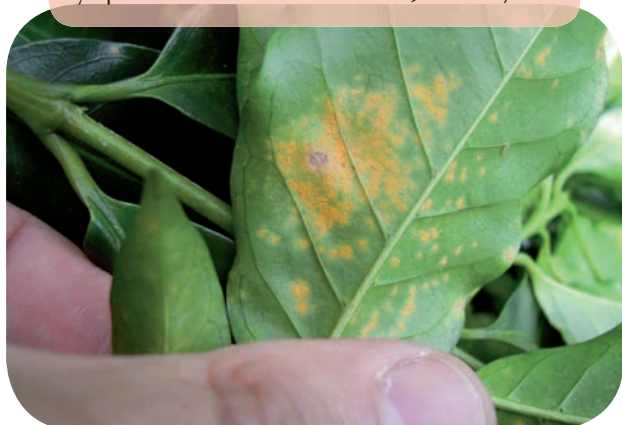


Scolyte © Cirad

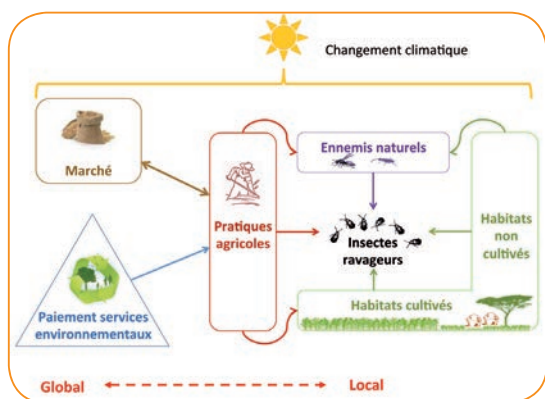
Des phénomènes nouveaux qui s'accélèrent

- Un changement du régime des pluies peut entraîner une variation des niveaux d'infestation par le **scolyte du caféier**. En effet, en cas de saison sèche marquée, les cerises du caféier mûrissent simultanément et une période de disette nuisible au scolyte survient après la récolte. Dans le cas contraire, les baies de café sont disponibles toute l'année, ce qui est favorable au scolyte.
- Sur la **canne à sucre**, les populations de trichogrammes sont en baisse. Ces minuscules guêpes parasitoïdes qui jouent un rôle capital dans la régulation naturelle des populations des foreurs des tiges, sont employées en lutte biologique. Or le trichogramme, qui vit à l'extérieur des plantes, est très sensible aux variations de température, alors que les foreurs, qui vivent à l'intérieur des tiges, y sont moins sensibles.

Symptôme de rouille sur caféier. © J. Avelino/Cirad



► Le cycle biologique de la **chenille carphophage du coton**, *Helicoverpa armigera*, en Afrique de l'Ouest, est étroitement lié aux conditions climatiques. En climat tropical, il peut y avoir jusqu'à dix générations par année. Au nord du Bénin, on a observé que l'abondance dépendait de l'hétérogénéité du paysage en plantes hôtes (cotonnier, maïs, tomate, sorgho) autour des parcelles. Or cette hétérogénéité dépend du calendrier cultural, lui-même étroitement lié aux variations de température et de précipitations.



Minimiser les impacts des bioagresseurs : une approche systémique

► l'anticipation et la prévention des introductions des bioagresseurs tropicaux et de leur établissement dans les pays de zones plus tempérées.

Il est donc possible de préserver les services écologiques tout en atténuant les effets du climat sur la biodiversité et il faudra redoubler d'ingéniosité pour concevoir des systèmes de cultures qui permettent d'assurer une protection efficace contre les bioagresseurs en mobilisant tous les processus écologiques. Il s'agit d'une priorité dans les recherches à venir, qui mobilisera un grand nombre de disciplines.



H. armigera sur cotonnier.
© A. Ratnadass/Cirad

Partenaires

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Emergence ou ré-émergence des maladies vectorielles

Le climat, un facteur parmi tant d'autres ?



Mésange bleue, réservoir
potentiel du virus West Nile en Europe.
G. Balança/Cirad

Les maladies transmises par des insectes vecteurs ont un impact majeur sur la santé humaine et animale, ainsi que sur l'économie des sociétés. De par leurs modes de transmission, ces maladies, zoonotiques ou non, sont particulièrement sensibles aux changements climatiques. Les processus biologiques en jeu sont complexes. Le Cirad et ses partenaires développent depuis plusieurs années des modèles qui permettent de mieux comprendre ces phénomènes et d'identifier les périodes et/ou les zones les plus à risque.

Contacts

Véronique Chevalier
veronique.chevalier@cirad.fr

Annelise Tran,
annelise.tran@cirad.fr
Cirad, UR AGIRs, Animal
et gestion intégrée des risques
Montpellier, France
<http://ur-agirs.cirad.fr>

Comprendre les mécanismes et les conditions environnementales qui sous-tendent les processus d'émergence des zoonoses à transmission vectorielle est un enjeu majeur pour améliorer les méthodes de lutte et de prévention. Les deux exemples ci-dessous illustrent des progrès importants issus des travaux du Cirad et de ses partenaires.

La fièvre de la vallée du Rift

Parmi les maladies « climato-sensibles », la fièvre de la vallée du Rift (FVR) est une dominante pathologique dans la majeure partie de l'Afrique. Elle est provoquée par un Phlebovirus et transmise aux ruminants et à l'homme par des moustiques (*Aedes* et *Culex* essentiellement). L'impact sanitaire et économique de la maladie est dramatique : chez les ruminants, avortements en masse des femelles gestantes, mortalité et morbidité importante des jeunes ; chez l'homme, existence de formes graves (encéphalite, forme hémorragique) ; arrêt total du commerce animal. Le Sénégal figure actuellement parmi les pays africains les plus touchés par la maladie. Dans cette région du monde, aucune corrélation n'a pu être établie entre des événements pluvieux extrêmes et la survenue



Mare temporaire où prolifèrent les principales espèces de moustiques vecteurs de la FVR au Sénégal : en saison sèche (haut) ; en saison humide (bas). © A. Tran/Cirad

d'épizooties, contrairement à ce qui a été observé au Kenya ; néanmoins le Cirad et ses partenaires ont montré que les épidémies majeures de FVR s'étaient déclarées les années où les abondances simultanées des deux espèces vectrices, *Culex poicilipes* et *Aedes vexans*, étaient maximales, ces abondances étant la conséquence directe de rythmes pluviométriques particuliers et maintenant bien décrits. Ces travaux (études entomologiques et sérologiques, modélisation) sont poursuivis dans le cadre du projet Vmerge.

La fièvre du Nil occidental

Transmise également par des moustiques du genre *Culex*, la fièvre du Nil occidental (FVN) est causée par un Flavivirus. Les hôtes réservoirs sont des oiseaux sauvages, essentiellement des passereaux. L'homme et le cheval peuvent être infectés, mais sont considérés comme des « impasses épidémiologiques ». En Europe, le virus est signalé dans le Bassin méditerranéen depuis les années 1960, et ce, sans conséquences notables sur la santé humaine ou animale. Mais l'incidence des cas neurologiques humains et équins a brutalement augmenté dans les années 2000, en particulier à partir de 2010. Une étude récente du Cirad et de ses partenaires a montré que des températures anormalement élevées, notamment pendant le mois précédant les épidémies, contribuait à leur déclenchement en provoquant une augmentation de la compétence vectorielle et une réduction de la durée du cycle gonotrophique (délai entre le repas sanguin et la ponte des œufs). Le modèle statistique mis au point permet de créer des cartes prédictives du risque de transmission qui sont d'ores et déjà utilisées pour optimiser la surveillance et cibler les zones les plus exposées.



Moustique *Culex*, vecteur de la fièvre de West Nile. © Cirad

Le climat n'est pas seul en cause

Bien que souvent impliqué, le climat et ses variations n'expliquent que rarement, à eux seuls, les émergences de maladies vectorielles observées depuis plusieurs décennies. En effet, la co-occurrence dans le temps et l'espace des hôtes — oiseaux, ruminants — et des vecteurs, ainsi que leur capacité à transmettre ou à héberger les pathogènes sont essentielles. Ainsi, la répartition et la densité des réservoirs, la saisonnalité et la géographie de leurs migrations, la structuration du paysage, et les préférences trophiques des vecteurs présents devront à l'avenir être pris en compte pour affiner nos prédictions et réduire ainsi l'impact sanitaire et économique de ces maladies.



Etourneau, réservoir potentiel du virus West Nile en Europe. © G. Balança/Cirad

Partenaires

International : FAO, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Europe : ANSES, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, France ; ECDC, Centre européen pour le contrôle et la prévention des maladies, Suède ; IRD, Institut de recherche pour le développement, France.

Afrique et Moyen Orient : ISRA, Institut sénégalais de recherches agricoles, Sénégal ; université d'Haifa, Department of Geography and Environmental Studies, Israël.

Projet Vmerge : <http://www.vmerge.eu>

➤ En savoir plus

Véronique Chevalier et al., 2015. Changement climatique et maladies animales à transmission vectorielle. In: Torquebiau E. (ed.). *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p 107-120.

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Systèmes de cultures annuelles et changement climatique



Sarclage du mil dans un parc à *Faidherbia albida*, Sénégal. Le rôle de l'accacia est essentiel dans la gestion de la fertilité du sol.
© T. Brévault/Cirad

En zone tropicale, les cultures annuelles familiales sont très sensibles au climat. Entre les effets positifs, négatifs, mal prédits, les évolutions des stress biotiques et les différentes interactions possibles, trop d'incertitudes existent encore pour prétendre prévoir les évolutions des rendements face aux changements climatiques. Des systèmes de culture (agriculture de conservation, agroforesterie, semis direct en Zaï) et d'aide à la décision (gestion des risques, assurances climatiques) sont à l'étude,

avec la double finalité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de réduire les impacts du changement climatique sur le niveau de vie des ménages agricoles.

Contacts

Edward Gérardiaux

Cirad, UPR Aïda, Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles

Montpellier, France

edward.gerardeaux@cirad.fr

<http://ur-aida.cirad.fr/>

Atténuer les causes du changement climatique



L'agriculture peut et doit contribuer à l'effort mondial de réduction des émissions de CO_2 , et également de méthane (CH_4) :

Limiter la consommation d'intrants : la recherche se focalise sur l'amélioration de l'efficacité des engrais, plutôt que sur leur substitution ou diminution.

Augmenter la séquestration du carbone : différentes pratiques agricoles sont reconnues comme potentiellement séquestrantes (agroforesterie, agriculture de conservation...). Mais les taux de séquestration sont encore très débattus. Autrefois très coûteuses, les mesures de carbone du sol sont désormais réalisables in situ et à moindre coût (spectrométrie infrarouge).

Limiter les émissions de CH_4 : on estime que les rizières irriguées produisent plus de 50 % des émissions de CH_4 (du fait de bactéries méthanogènes dans les sols). Or les productions de riz devront encore augmenter pour répondre à la croissance démographique.

Des assèchements temporaires des rizières peuvent réduire très fortement les émissions de CH_4 . De plus, ils semblent contrôler certaines maladies et prédateurs du riz, ainsi que des vecteurs de pathologies humaines.

Repiquage du riz au Laos. © F. Ribeyre, Cirad



Atténuer les effets du changement climatique

Prévoir les effets : la prévision est nécessaire car elle permet d'orienter la recherche et les politiques de développement vers une atténuation des effets du changement climatique (événements extrêmes, stress hydrique, etc.) sur les cultures. La modélisation des cultures passe par plusieurs outils en fonction des échelles étudiées. A l'échelle des territoires et des bassins de collectes, les outils statistiques basés sur des données historiques permettent de prévoir les récoltes en fonction d'une ou plusieurs variables climatiques. A l'échelle de la culture ou de la plante, les modèles de simulation de la croissance et du développement sont les plus appropriés pour rendre compte des effets des pratiques et du climat. Le Cirad et ses partenaires travaillent à l'amélioration de ces modèles, qui ne prennent pas encore en compte des facteurs importants : biocénose, biologie des sols, érosion, températures extrêmes...

Adapter les systèmes de culture : de nombreuses techniques locales existent pour faire face notamment à l'aléa hydrique : gestion des eaux de surface, apports mixtes localisés de fertilisants organiques et minéraux, aménagements antiérosifs physiques (alignement ou cordons pierreux, voire murets) et biologiques (enherbement, haie vive, paillis).



Agriculture de conservation : coton cultivé en semis direct avec un paillage de sorgho et d'adventices.
© K. Naudin/Cirad



Semis de mil selon la méthode zai au Bénin.
© P. Sylvie/Ird-Cirad

Assurer les risques

Comme dans d'autres secteurs, des assurances peuvent atténuer (par les indemnités versées) les conséquences de pertes de production découlant de problèmes subis (sécheresse, inondation, gel, attaque massive de sauterelles). Depuis le début des années 2000, des systèmes innovants sont expérimentés dans différents pays (Inde, Chine, Mexique, Kenya, Sénégal, Mali, etc.). Il reste à démontrer que cela sera économiquement possible au Sud à grande échelle et pertinent, en comparaison avec d'autres aides à l'agriculture.

Un défi pour les agricultures familiales

Dans les pays en voie de développement, où de très nombreux stress biotiques et abiotiques se conjuguent dans les parcelles des producteurs, les insuffisances des modèles prédictifs sont considérables. Pour faire face aux changements annoncés, l'intensification écologique de l'agriculture devra nécessairement être aussi « climato intelligente ».

Le développement de systèmes de prévision des risques est une piste prometteuse pour aider les agriculteurs au pilotage « tactique » de l'écosystème cultivé. Mais les choix techniques à l'échelle des parcelles cultivées devront nécessairement être soutenus par des politiques destinées à favoriser la marge de manœuvre des agriculteurs pour adapter constamment leurs systèmes de culture ou à amortir les effets des aléas qu'ils subissent.

Partenaires

Réseaux et projets

- **Projet IntensAfrica** (Union européenne, Fara)
- **ASAP**, Systèmes agro-sylvo-pastoraux en Afrique de l'Ouest
- **F&B**, Forêts et biodiversité à Madagascar
<http://www.forets-biodiv.org>
- **SPAD**, Systèmes de production d'altitude et durabilité à Madagascar
- **Agroforesterie Cameroun**, Systèmes agroforestiers en Afrique centrale
- **CANSEA**, Agriculture de conservation en Asie du Sud-Est
<http://cansea.org.vn>
- **AFS-PC**, Systèmes agroforestiers en Amérique centrale
<http://www.pcp-agroforestry.org>

► En savoir plus

Gérardeaux E. *et al.*, 2015. Les relations entre systèmes de culture annuels tropicaux et changement climatique In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p 107-120.

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Durabilité de l'élevage et changement climatique



Bovins sur pâturages de *Brachiaria humidicola* en Amazonie. © V. Blanfort/Cirad

Accompagner l'adaptation

Les relations de l'élevage avec le changement climatique sont complexes. D'une part, il est un contributeur majeur au phénomène via ses émissions de gaz à effet de serre (GES). D'autre part, la contribution importante et croissante des productions animales dans les systèmes alimentaires et les agricultures des pays du Sud (fumure, transport, épargne, revenu) rend indispensable leur maintien, d'autant que de très grands bouleversements démographiques, environnementaux et de consommation s'y opèrent.

Le Cirad et ses partenaires contribuent à l'adaptation des systèmes d'élevage et à la pérennisation de leurs multiples fonctions.

Contacts

Alexandre Ickowicz

Montpellier, France
alexandre.ickowicz@cirad.fr

Mathieu Vigne

Saint-Pierre, la Réunion
mathieu.vigne@cirad.fr
Cirad, UMR Selmet,
Systèmes d'élevage méditerranéens
et tropicaux
<http://umr-selmet.cirad.fr>

Produire des références sur les systèmes d'élevage

Les références locales sur la contribution au réchauffement climatique des systèmes d'élevage des pays du Sud sont peu nombreuses. Dans le cadre des projets EPAD et Animal Change, le Cirad et ses partenaires ont construit de nombreux référentiels sur les consommations d'énergie fossile et les émissions de GES de systèmes d'élevage pastoraux, agropastoraux et en voie d'intensification dans diverses régions du monde (Brésil, Burkina Faso, Costa Rica, Egypte, Guadeloupe, Guyane, Réunion, Kenya, Mali, Mayotte, République Démocratique du Congo, Sénégal et Vietnam)

Evaluer l'impact du changement climatique sur l'élevage

La hausse des températures, le changement des régimes de pluie et les épisodes météorologiques extrêmes influent sur les différentes composantes du système. Le Cirad évalue l'ensemble des impacts induits chez les animaux par le stress thermique (diminution de la production ou

de la reproduction, mortalité du cheptel) la modification des ressources fourragères locales due à l'augmentation des températures et des teneurs en CO₂, ou encore la baisse des surfaces de pâturage disponibles dans certains territoires, notamment en Afrique subsaharienne.



Conversion d'une partie de la savane naturelle en pâturage de *Brachiaria*, RDC. © A. Duclos/Cirad

Comprendre et favoriser l'adaptation

Au-delà des impacts sur l'élevage, il importe d'évaluer les capacités d'adaptation aux changements et de les accompagner. Des modèles démographiques tels que Dynmod permettent par exemple de simuler l'impact de sécheresses successives sur la dynamique et la productivité du troupeau. En Egypte, le projet Elvulmed a permis de comprendre comment l'élevage bédouin, confronté aux épisodes de sécheresse récurrents de 1995 à 2010, a vécu cette période de transformation profonde en adaptant sous différentes formes les systèmes de production et les filières.

Explorer des voies d'atténuation des émissions de GES

La grande diversité des systèmes d'élevage de par le monde permet d'envisager de nombreuses options d'atténuation des émissions de GES. Le Cirad et ses partenaires étudient tout particulièrement :

- les ressources alimentaires à potentiel méthanogène moindre et permettant d'améliorer la productivité des animaux (sous-produits de culture notamment) ;
- la conservation et le recyclage de l'azote au sein de l'exploitation (construction de fosses fumières au Burkina Faso par exemple) ;
- le stockage du carbone dans les pâturages (projets Carpagg et Animal Change).



Traite manuelle dans une exploitation de Sikasso. © M. Vigne/Cirad

Prendre les bonnes décisions

Ces travaux appuient la prise de décision, au niveau de l'agriculteur (modifications de pratiques, anticipation d'événements climatiques) et des décideurs politiques (politiques publiques). A court terme, il s'agit de s'adapter à des crises plus fréquentes et plus intenses ; à plus long terme, de prévoir les évolutions et de proposer les mesures qui les rendront possibles sans coût social. Par exemple, le système d'information et d'alerte précoce au Sahel (SIPSA) permet de comprendre les dynamiques en cours et d'accompagner la prise de décision face aux différentes crises que subit la région.



Fosse fumière dans une exploitation familiale, Burkina Faso. © M. Blanchard/Cirad

Partenaires

Afrique : Fifamanor, Centre de développement rural et de recherche appliquée, Madagascar ; Fofifa, Centre national de la recherche appliquée au développement rural, Madagascar ; IER, Institut d'économie rurale, Mali ; ISRA, Institut sénégalais de recherches agricoles, Sénégal ; Ranch de Kolo, RDC ; UCAD, Université Cheick Anta Diop, Sénégal.

Amérique latine : CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica ; Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brésil.

Asie : NIAS, National Institute of Animal Science, Vietnam.

France : Chambre d'Agriculture de Bretagne ; CERPAM, Centre d'études et de réalisations pastorales Alpes Méditerranée ; IE, Institut de l'élevage ; Inra, Institut national de la recherche agronomique ; Montpellier SupAgro.

Union européenne : projets Feder.

Outre-mer français : Coopératives de producteurs : SicaLait et SicaRevia, la Réunion ; Région Guyane et la Réunion.

International : FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations ; CIRDES, Centre international de recherche-développement sur l'élevage en zone sub-humide, Burkina Faso ; ICARDA, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Egypte ; ILRI, International Livestock Research Institute.

➤ En savoir plus

Mathieu Vigne et al., 2015. Contraintes sur l'élevage dans les pays du Sud : les ruminants entre adaptation et atténuation. In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p 123-136.

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Gestion des territoires hydrologiques



Ouvrage régulateur d'eau
au Mali. © E. Daou.

Un enjeu planétaire pour la recherche en partenariat

Le cycle de l'eau est influencé par les dynamiques planétaires (socio-économiques, institutionnelles, politiques, etc.). Il va être également bouleversé par le changement climatique, qui induit des modifications progressives et parfois marquées des hydrosystèmes et des processus hydrologiques naturels. Les usagers

et les acteurs tentent de s'adapter afin de maîtriser leurs relations à l'eau. Cependant, les scénarios actuels

montrent une accélération dans l'intensité des changements. Les recherches du Cirad sont le plus souvent conduites sur site, selon des principes de participation des acteurs — des producteurs ruraux jusqu'aux décideurs et gestionnaires —, et de coconstruction des solutions proposées.

Contacts

Olivier Barreteau
Irstea, UMR G Eau
Montpellier, France
olivier.barreteau@irstea.fr

Stefano Farolfi
Cirad, UMR G Eau
Montpellier, France
stefano.farolfi@cirad.fr
<http://www.g-eau.net/>



trois enjeux majeurs orientent les recherches du Cirad et de ses partenaires dans la gestion des ressources en eau :

- **caractériser les changements**, pour mieux comprendre les modifications induites par le changement climatique, mais aussi par les autres changements planétaires, sur les systèmes naturels et anthropisés ; en modéliser les effets et les risques à court et à long terme ; représenter l'imbrication du changement climatique dans d'autres changements à l'œuvre (socio-économiques, institutionnels et politiques) ;
- **proposer des solutions techniques**, pour accompagner les acteurs dans l'adaptation de leurs pratiques ;
- **adapter la gouvernance face aux changements**, pour prendre en compte des questions émergentes sur la gestion et les usages de l'eau au sein des territoires.



Dégâts provoqués par les pluies torrentielles sur des terrasses irriguées au Vietnam. © J-Y. Jamin/Cirad

Caractériser les changements

Le premier grand enjeu concerne la caractérisation des changements à l'œuvre par :

- ▶ un suivi de la dynamique et de la disponibilité de la ressource en eau par des mesures systématiques et le développement de modèles statistiques climatiques et mécanistes hydrologiques ;
- ▶ l'analyse des effets des changements d'usage du sol en adaptation à ces régimes ;
- ▶ l'étude de la perception par les agriculteurs de l'importance du changement climatique et des autres changements globaux, et de la nécessité de s'adapter.

Proposer des solutions techniques

Trois types de solutions sont explorés et leurs effets sur les différents usages et sur la viabilité environnementale sont analysés :

- ▶ innovations technologiques dans les usages, notamment en termes d'irrigation ; l'utilisation de méthodes d'irrigation plus économes en eau (p.e. le goutte-à-goutte) est étudiée et les questions d'appropriation par les acteurs sont abordées ;
- ▶ solutions de régulation de la ressource, par exemple à travers les retenues ;
- ▶ solutions liées à la mobilisation de ressources alternatives : eaux faiblement salines, eaux usées, eaux souterraines, etc.



Irrigation par aspersion sur culture d'oignon en Tunisie. © J-Y. Jamin/Cirad.

Adapter la gouvernance face aux changements

La gouvernance des territoires hydrologiques comporte des formes d'adaptation non techniques (migrations accrues, scénarios alternatifs d'allocation de la ressource en eau, etc.). Pour cela, les chercheurs, en partenariat avec les acteurs de la gestion de l'eau, mettent au point des méthodes et des outils pour faciliter la prise en compte de points de vue hétérogènes dans les choix d'aménagement et d'adaptation.

Par exemple, en région méditerranéenne, des travaux sur la gestion concertée des nappes suggèrent une approche basée sur la gouvernance et l'action collective pour assurer la viabilité des hydrosystèmes.

Sur plusieurs terrains, en Afrique et ailleurs, le kit de modélisation et de simulation participative Wat-A-Game (WAG) accompagne tous les acteurs vers des dispositifs de jeu et de négociations pour la gestion et les usages de l'eau. Il permet la mise en voix de points de vue d'acteurs faibles, également porteurs de perceptions de changement et de propositions d'adaptation. Son application permet d'impliquer ensemble les communautés villageoises et les responsables publics dans l'élaboration de leurs stratégies collectives de développement.

Construire un continuum de savoirs

Les recherches menées par le Cirad et ses partenaires visent à mieux associer les différents acteurs impliqués dans les processus d'adaptation des hydrosystèmes au changement climatique et aux autres changements planétaires. Leur objectif est de former un continuum de savoirs profanes et scientifiques, de savoir-faire, de pratiques locales, de



Séminaire participatif au sein du projet Aquimed au Maroc. © N. Fayse/Cirad

technologies exogènes et d'information, pour alimenter les chaînes décisionnelles mobilisées dans les processus d'adaptation des populations rurales, des exploitations agricoles et des politiques publiques.

Partenaires

AFD, Agence française de développement, France ;
AIT, Asian Institute of Technology, Thaïlande ;
IAV, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Maroc ;
ICID, International Commission on Irrigation & Drainage ;
INAT, Institut national agronomique de Tunis, Tunisie ;
IWMI, International Water Management Institute (CGIAR) ;
NEPAD, African Western and Southern Networks of Centres of Excellence in Water Sciences ;
UNESCO, Chair in Water Economics and Transboundary Water Governance ;
UNESCO IHE, Institute for Water Education ;
Université Cheick Anta Diop, Sénégal ;
Université Eduardo Mondlane, Mozambique ;
Université de Pretoria, Afrique du Sud.

▶ En savoir plus

Barreteau O., Farolfi S., Perret S., 2015. La gestion des territoires hydrologiques à l'épreuve du changement climatique. In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p 147-156

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

La valorisation des déchets organiques

Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre



Elevage réunionnais.
© E. Tillard/Cirad

Le simple recyclage en agriculture des déchets organiques peut remplacer des engrais minéraux et rendre les cycles des nutriments plus efficaces et, par là, réduire des sources de GES. Selon le principe de la bioéconomie, une valorisation plus complète intégrant une biotransformation, réduira encore - directement et indirectement - ces émissions par le stockage de carbone stable et l'économie d'énergies fossiles. Les

recherches du Cirad contribuent à mieux raisonner les échanges, les transformations et les apports de matières organiques dans des contextes variés de production agricole en zone tropicale.

Contacts

Jean-Luc Farinet,
Cirad, UPR Recyclage et risque
Montpellier, France
jean-luc.farinet@cirad.fr
<http://ur-recyclage-risque.cirad.fr>

Emmanuel Tillard
Cirad, UMR Selmet, Systèmes
d'élevage méditerranéens et
tropicaux
Saint Pierre, la Réunion
emmanuel.tillard@cirad.fr
<http://umr-selmet.cirad.fr>

La valorisation intégrée des déchets agricoles, agro-industriels et urbains



La Réunion, en 25 ans, l'élan de développement du secteur de l'élevage a conduit à la mise en place de filières exemplaires par leur intégration et leur capacité de production. Mais cette intensification a entraîné une importante hausse de leur empreinte carbone.

Les liens entre les déchets organiques, de leur production à leur destination finale, et les émissions de GES sont multiples. En simulant le fonctionnement des exploitations d'élevage, le Cirad a élaboré des améliorations techniques qui permettent aux producteurs de soulager leur bilan climatique. Mais le potentiel d'amélioration est bien plus grand s'il est raisonné à l'échelle du territoire. Ainsi, la recherche de solutions durables amène à établir des



Epandage de lisier de porc sur parcelle expérimentale de canne à sucre à la Réunion. © F. Feder/Cirad

synergies entre divers types de déchets et à réaliser des économies d'échelle permettant de mettre en œuvre des transformations comme la méthanisation.

De telles solutions ont été élaborées dans le cadre du projet de recherche-développement Girovar mené avec une collectivité locale de la Réunion de 2011 à 2014.

Une voie privilégiée : la méthanisation

La méthanisation des déchets organiques est reconnue comme l'une des principales solutions pour réduire les émissions de GES dans l'agriculture et l'agro-industrie. Elle est particulièrement intéressante en région tropicale, où les températures élevées favorisent son rendement et où la production d'énergie électrique n'est pas encore complètement centralisée. En Afrique, d'importants potentiels de valorisation existent, de l'échelle de l'exploitation à celle du territoire, en passant par les sites agroindustriels. Depuis les années 1990, le Cirad s'est plutôt mobilisé sur la méthanisation de déchets agro-industriels produits en grande quantité en un même lieu.

Au Sahel, où l'élevage reste majoritairement extensif, l'abattoir est le seul lieu de concentration des animaux où il est possible d'envisager une réelle valorisation des déchets. Le Cirad a participé à deux projets au Sénégal et en Égypte, visant à démontrer la faisabilité technique et économique de la méthanisation des déchets d'abattoir. Dans le prolongement de ces actions, il coordonne depuis début 2014 le projet WABEF, qui vise à promouvoir la méthanisation en Afrique de l'Ouest par la mise à disposition d'outils d'aide à la décision et la formation initiale et professionnelle.

Un autre exemple concerne la filière de l'huile de palme. Les opérations d'extraction engendrent la production d'un effluent riche en matière organique et en éléments minéraux, classiquement traité dans d'immenses lagunes à ciel ouvert et émettant jusqu'à 38 kg CH₄/tonne d'huile produite. Depuis 2011 au Gabon, au Ghana et au Nigeria, le Cirad collabore avec un groupe privé pour mettre en œuvre la méthanisation de ces effluents en lagunes couvertes, une technique particulièrement bien adaptée au contexte local. Le biogaz y engendrera, à l'horizon 2020, une économie de plus de 4 millions de litres de diesel par an. Couplées à la réduction des émissions par rapport à la situation antérieure, ce seront chaque année 73 700 tonnes d'équivalent CO₂ dont l'émission sera évitée.



Construction de lagune de méthanisation au Ghana. © Biotec

Perspectives

Le recyclage des déchets organiques nécessite de mieux comprendre le comportement des métaux, des pathogènes et de certains composés organiques dans les différents compartiments de l'environnement (eau, sol, plante, air). Ainsi, le Cirad a installé à la Réunion des essais de long terme sur prairies et vient d'installer un site expérimental très instrumenté sur canne à sucre dans le cadre d'un dispositif national, le Système d'observation et d'expérimentation sur le long terme pour la recherche en environnement consacré à l'impact de la valorisation agronomique des produits résiduels organiques (SOERE-PRO). Les mesures effectuées sur ces sites et la modélisation du compostage et de la méthanisation fourniront de précieuses références et serviront à établir des liens entre les mesures de « potentiels » au laboratoire et les données de terrain.



Mesure de l'émission de N₂O sur prairie d'altitude à la Réunion avec des cloches accumulatrices. © M. Miralles-Bruneau/Cirad

Partenaires

La Réunion : Dispositif de programmation SIAAM, Services et impacts des activités agricoles en milieu tropical.

Sénégal : Laboratoire mixte international IESOL, Intensification écologique des sols cultivés en Afrique de l'Ouest.

France métropolitaine : Cerege, Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement ; Inra, Institut national de la recherche agronomique ; UMR SAS, Sol, agro et hydrosystème, spatialisation ; UMR Ecosys, Ecologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes.

Projets

Girovar : <http://www.tco.re/nos-competences/developpement-economique/projet-girovar>

WABEF : <http://wabef.cirad.fr>

► En savoir plus

Tom Wassenaar et al., 2015. La réduction des émissions de gaz à effet de serre par la valorisation agricole des résidus organiques. In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde. Collection Agricultures et défis du monde*, Cirad-AFD. Editions Quae, p 157-170

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Forêts tropicales humides

Comment résister au changement climatique



Vestiges d'un incendie de forêt
au Costa Rica.
© B. Locatelli/Cirad

Le stress hydrique est la principale menace climatique qui pèse sur les forêts tropicales humides. Mieux comprendre la physiologie des différentes espèces pour évaluer leur vulnérabilité, développer des modèles

pour comprendre l'évolution des peuplements, mesurer les effets de leur exploitation par l'homme : tels sont les travaux que mène le Cirad avec ses

partenaires sur les grands massifs forestiers de la zone tropicale humide afin de développer des modes de gestion qui minimisent ces risques croissants.

Contacts

Bruno Hérauld

Cirad, UMR Ecofog
Kourou, Guyane
bruno.herauld@cirad.fr
<http://www.ecofog.gf>

Sylvie Gourlet-Fleury

Cirad, UPR BSEF
Montpellier, France
sylvie.gourlet-fleury@cirad.fr
<http://ur-bsef.cirad.fr>

Des projections à prendre en compte



u cours de leur histoire, les espèces des forêts tropicales humides ont expérimenté bien des changements climatiques. Elles ont dû s'y adapter, soit en changeant leur fonctionnement physiologique, soit en migrant pour retrouver leur optimum climatique. Dans le contexte actuel, ces migrations ne sont plus possibles, car elles se heurtent à l'anthropisation croissante des paysages tropicaux. Les experts estiment ainsi que sous l'effet des multiples pressions à venir, 55 à 82 % de la surface des forêts tropicales pourrait être dégradée à l'horizon 2100.

Les projections climatiques suggèrent une modification du bilan hydrique, avec deux types de changements : une diminution du volume des pluies et une accentuation des cycles saisonniers. Les forêts sont capables de fonctionner quelques semaines à quelques mois en état de déficit hydrique : les arbres stoppent alors leur croissance diamétrique. Mais si ce déficit dure trop longtemps, la dynamique forestière peut en être affectée et les compositions floristiques modifiées.



Les capteurs de la tour Guyaflux (Inra) au-dessus de la forêt de Paracou (dispositif Cirad), Guyane. © Cirad

Evaluer la vulnérabilité des espèces

Un enjeu majeur consiste à trouver des indicateurs mesurables de la vulnérabilité des arbres, et notamment des espèces commerciales, au déficit hydrique. Le Cirad et ses partenaires privilégient des approches écophysiologiques qui s'appuient sur :

► les propriétés hydrauliques du bois : un déficit en eau dans le sol crée une tension de sève dans les vaisseaux conducteurs des arbres ; au-delà d'un certain seuil, il apparaît des bulles d'air dans le xylème et une rupture de la colonne d'eau, c'est le phénomène de cavitation ; la circulation ascendante de la sève est alors réduite et le métabolisme de l'arbre est affecté, ce qui entraîne un déficit de croissance, voire la mort ;

► la capacité de réponse des cellules foliaires au stress hydrique : dans les cellules vivantes, des ajustements internes tels que l'élévation de la concentration en osmoticum (molécules modulant la pression osmotique) ou l'augmentation de l'élasticité cellulaire permettent de diminuer la déshydratation des tissus.



Capteurs de croissance des arbres reliés à la centrale d'acquisition de la station micro-météorologique. © Cirad



La station micro-météorologique et les carabets d'accueil des chercheurs à la Trinité, Guyane. © Cirad

Adapter les modes de production et de gestion

Actuellement, la moitié de la superficie des forêts tropicales est consacrée à la production de bois. Il va falloir non seulement augmenter la production de ces forêts, mais aussi tenir compte de leurs vulnérabilités.

Pour augmenter la résilience des forêts exploitées, différentes stratégies sont envisagées :

► dans les forêts de production, diminuer la compétition de manière récurrente, au moyen d'éclaircies sélectives : ces forêts présentent de meilleures résistances et résiliences lors des épisodes de déficit hydrique ; cependant, cet effet positif n'est que temporaire ; par la suite, il s'annule, puis devient négatif car il favorise la croissance d'arbres de très grande taille, sensibles à la sécheresse ;

► dans les zones jugées plus fragiles, comme les forêts se développant sur des sols pauvres, limiter les interventions sylvicoles pour ne pas induire de stress supplémentaire ;

► Dans les zones jugées les plus favorables, intensifier la production et renouveler les espèces de grande valeur commerciale : éclaircies, dégagement de jeunes individus de valeur, enrichissements, pour compenser la diminution de production ailleurs.

L'exploitation a également pour conséquence une augmentation de la sensibilité au feu des forêts. Celle-ci résulte d'une plus grande quantité de bois mort sec dans le sous-bois et d'une plus grande pénétration des massifs forestiers par les activités humaines. Ainsi, la surface forestière qui brûle chaque année en Amazonie augmente exponentiellement. Les compromis à trouver entre la baisse de la compétition pour diminuer la sensibilité des peuplements au déficit hydrique et l'augmentation des risques d'incendie sont donc un véritable enjeu.



Les trouées dans la canopée stimulent la régénération et la croissance des arbres. © S. Gourlet-Fleury/Cirad

Perspectives

Le Cirad dispose de nombreuses données, issues de dispositifs de suivi à long terme des forêts de Guyane et d'Afrique centrale, mais les expérimentations grandeur nature restent à construire. Les modèles mis au point permettront, par exemple, de prédire, en fonction de différents scénarios climatiques, l'évolution de la production de bois, élément essentiel de la durabilité des forêts dans de nombreuses zones intertropicales. Cet enjeu en cache un autre, d'autant plus redoutable : trouver le modèle économique qui permettra le financement de ces nouveaux modes de production et de gestion.

Partenaires

Dispositifs de recherche et d'enseignement en partenariat

DP FAC, Forêts d'Afrique centrale ; F&B, Forêts et biodiversité à Madagascar ; Dispositif de Paracou, Guyane ; Dispositif de M'Baïki, République centrafricaine ; Tropical Managed Forest Observatory

Projets

Coforchange : www.coforchange.eu

Cofortips : <http://ur-bsef.cirad.fr/principaux-projets/cofortips>

DynAifor : <http://www.dynaifor.org>

► En savoir plus

Hérault B., Gourlet-Fleury S., 2015. Les forêts tropicales humides résisteront-elles au changement climatique ? In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p 171-184

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

L'écologie fonctionnelle

Caractériser les services rendus par les forêts plantées



© Y. Nouvellon/Cirad

Comment, à la fois, préserver les forêts natives tropicales, lutter contre les changements climatiques et satisfaire les besoins grandissants en bois ou en énergie ? Les forêts plantées, outre leur vocation économique, remplissent certaines de ces fonctions. Elles jouent notamment un rôle majeur dans la fertilité des sols, la séquestration du carbone atmosphérique et le cycle de l'eau.

L'écologie fonctionnelle cherche à comprendre les lois biologiques et physiques qui assurent la pérennité de ces systèmes. Elle permet d'améliorer les pratiques culturales qui renforcent leurs fonctions environnementales.

Contact

Jean-Paul Laclau

Cirad, UMR Eco&Sols

Montpellier, France

laclau@cirad.fr

www6.montpellier.inra.fr/ecosols

Caractériser les flux de matière et d'énergie

Les changements climatiques et les pressions sur les terres contribuent à augmenter la dégradation et la fragmentation des forêts naturelles et, avec elles, la perte de services écosystémiques majeurs. Face à ces menaces, les plantations forestières et les systèmes agroforestiers sont appelés à jouer un rôle croissant, à condition d'être gérés durablement.

L'objectif des travaux de l'UMR Eco&Sols est de renforcer les impacts positifs des écosystèmes forestiers plantés sur l'environnement, tout en remédiant à leurs effets négatifs :

► **Impacts positifs** : souvent établies sur sols pauvres, les plantations forestières contribuent aux besoins des populations et du marché (ex : elles représentent 5 % des surfaces de forêts, mais 35 % de la production ligneuse exploitée). Elles réduisent les pressions sur les forêts naturelles pour la production de bois. Elles peuvent améliorer les sols et la biodiversité des zones dégradées, filtrer/épurer les eaux de drainage, jouer un rôle dans les équilibres climatiques par la séquestration de carbone et la régulation des pluies, etc.

► **Principaux risques** : les plantations forestières sont plus sensibles que les forêts naturelles aux problèmes phytosanitaires. Une production intensive peut provoquer une baisse, à terme, de certaines ressources naturelles (eaux de surface et nappes phréatiques, nutriments des sols), une perte de biodiversité lorsque les plantations succèdent à des forêts naturelles exploitées, des impacts paysagers si les massifs sont plantés sur de grandes surfaces.



Caféiers sous ombrage d'*Erythrina poeppigiana* (légumineuse), Costa Rica © O. Roupsard/Cirad

L'écologie fonctionnelle étudie les fonctions des organismes en interaction avec leur environnement. Cette discipline est mise en œuvre par le Cirad pour caractériser le fonctionnement des plantations forestières et des systèmes agroforestiers, et les impacts environnementaux associés. Une approche écosystémique, appuyée sur une méthodologie et des outils propres, permet d'étudier de manière dynamique les flux d'eau, de carbone et d'éléments minéraux dans les agro-écosystèmes.

Un réseau de dispositifs dans les principales zones de plantation en milieu tropical

L'expertise du Cirad couvre un réseau unique de sites ateliers, où il étudie avec ses partenaires les processus-clés de fonctionnement : eucalyptus et savane au Congo, eucalyptus en plantations pures et multispécifiques au Brésil, hévéa en Thaïlande, systèmes agroforestiers à caféiers au Costa Rica. Les études portent sur :

- ▶ les déterminants des cycles de l'eau et du carbone et des émissions de gaz à effet de serre (sensibilité de la production primaire et de la respiration du sol au changement climatique, impact des pratiques culturales sur la matière organique du sol, etc.) ;
- ▶ les déterminants des cycles de nutriments contribuant à une meilleure utilisation des ressources du sol (rôle des espèces végétales, des peuplements complexes et de leur mode de gestion dans la biodisponibilité des nutriments et l'évolution des bilans minéraux) ;
- ▶ la modélisation du fonctionnement des systèmes sol-plante sous l'effet des changements globaux et des pratiques culturales et la spatialisation des bilans de C, d'eau et de nutriments.

Ces recherches sont nécessaires pour optimiser les pratiques culturales, par exemple pour équilibrer les bilans minéraux (gestion de la matière organique, utilisation de plantes fixatrices d'azote, fertilisation raisonnée).

Etude de l'impact de la réduction des pluies et de la fertilisation (K) sur le fonctionnement de plantations d'*Eucalyptus grandis*, Brésil
© J-P. Laclau/Cirad



Quelques résultats importants

- ▶ Les études portant sur l'efficacité d'utilisation des ressources en eau et en nutriments ont montré, dans le cas de plantations d'eucalyptus, qu'il est préférable de gérer de façon intensive des plantations fortement productives sur des surfaces réduites, avec un apport adéquat de fertilisants, plutôt que des plantations extensives sur de plus grandes surfaces.
- ▶ A partir de la deuxième année après la plantation, l'évapotranspiration des plantations d'eucalyptus les plus productives est égale aux précipitations ; de ce fait, la recharge des nappes phréatiques diminue par rapport à un couvert de pâturages et il faut donc aménager le territoire avec des espaces non boisés entre les plantations pour maintenir les débits des cours d'eau.
- ▶ Au Sahel, les acacias africains augmentent la séquestration de carbone et d'azote dans le sol et la biodisponibilité de l'azote pour les cultures.
- ▶ Dans les systèmes agroforestiers avec caféiers, le couvert forestier, en régulant le microclimat, réduit la transpiration des caféiers et rend la culture moins sensible au changement climatique.

Préparation d'une fosse de 17 m de profondeur pour étudier le fonctionnement des racines sur le site atelier du Brésil.
© J.P. Laclau/Cirad



Mesure de la respiration du sol en plantation d'hévéas, Thaïlande.
© P. Thaler/Cirad

Partenaires

Projets français et européens : Heveadapt, Intens&Fix, Maccac (ANR) ; Arina (EuropeAid) ; Carbofrica et Climafrica (UE)...

Projets bilatéraux : Soil and carbon balance of rubber ecosystem (PHC Thaïlande) ; Eucflux (entreprises brésiliennes)

Organismes de recherche et universités européens, nord et sud-américains, africains, asiatiques.

Partenaires des dispositifs de recherche en partenariat

: Thaïlande (hévéa) ; Costa-Rica (systèmes agroforestiers) ; République du Congo (eucalyptus, acacia) ; Brésil (eucalyptus, plantations mélangées)

Réseaux nationaux et internationaux : SOERE, F-ORE-T, Cifor, Fluxnet, AsiaFlux, Irrdb, Ngara

► En savoir plus

Laclau J-P. et al., 2015. Adaptation au changement climatique et atténuation dans les plantations d'arbres tropicaux. In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p185-195

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Améliorer les systèmes agroforestiers en zone tropicale humide



Le cas des cacaoyers et des caféiers

En zone tropicale humide, les systèmes agroforestiers (SAF) associent aux arbres forestiers des cultures de rente (caféier, cacaoyer, hévéa, palmier, ...), des espèces fruitières (colatiers, avocats, orangers, ...), ou encore des cultures vivrières ou de l'élevage.

Ces systèmes sont le plus souvent issus de

forêts naturelles dans lesquelles une partie de la végétation d'origine a été substituée par d'autres espèces pérennes après une défriche-brûlis totale ou partielle réalisée pour des cultures vivrières. Cette mise en valeur de la terre aboutit après quelques années à des systèmes de productions multiples, gérés en fonction des cultures de rente présentes, qui représentent généralement la plus grande partie du revenu des agriculteurs.

© D. Snoeck/Cirad

Contacts

Didier Snoeck

Cirad, UPR Performances
des systèmes de cultures pérennes
didier.snoeck@cirad.fr

Patrick Jagoret

Cirad, UMR System
patrick.jagoret@cirad.fr

Philippe Vaast

UMR Eco&Sols
ICRAF - Nairobi - Kenya
philippe.vaast@cirad.fr

Michel Dulcire

Cirad, UMR Innovation
michel.dulcire@cirad.fr

Dans le contexte actuel de diminution des terres cultivables, de pression démographique, de crise alimentaire, de changement climatique, et face aux limites atteintes par l'intensification conventionnelle de l'agriculture, les pratiques agroforestières offrent des perspectives intéressantes. Améliorer la gestion de ces systèmes, assurer leur durabilité environnementale, technique et sociale constitue un enjeu important pour la recherche et le développement.

Comprendre leur fonctionnement

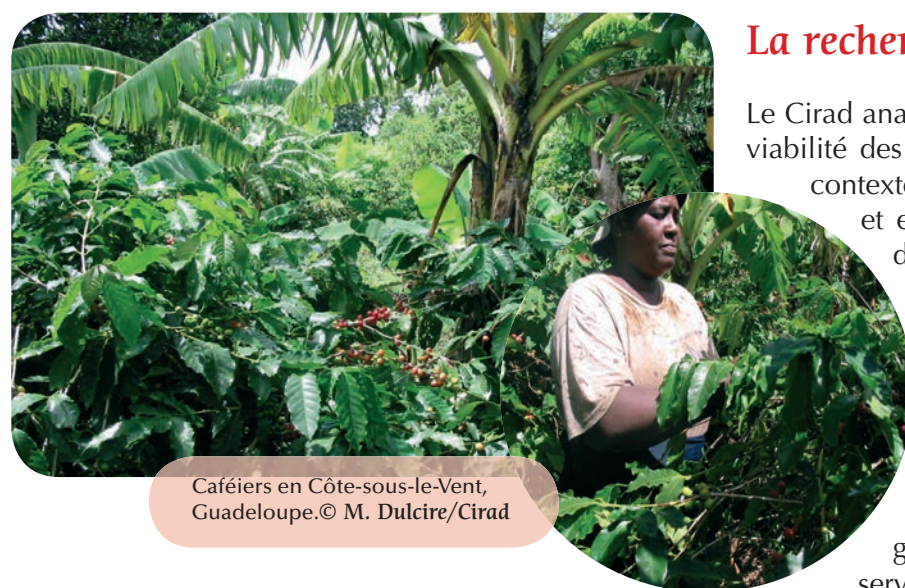
Les cacaoyères et les caféières agroforestières constituent une forme traditionnelle de production, dont le fonctionnement s'apparente à celui d'une forêt. Par rapport aux systèmes en culture pure, elles produisent moins de cacao ou de café, mais elles sont plus durables et plus respectueuses de l'environnement car leur conduite exige généralement moins de pesticides et d'engrais chimiques. Les agriculteurs en tirent d'autres productions qu'ils consomment ou commercialisent (fruits divers,



Cacaoyer « Nacional »,
Equateur. © M. Dulcire/Cirad

huile et vin de palme, produits médicinaux, fourrage, bois d'œuvre, produits d'artisanat). Les agroforêts offrent également une gamme de services environnementaux importants, tels que la conservation de la biodiversité, le maintien de la fertilité des sols, et le stockage du carbone. Elles jouent aussi un rôle social et culturel (patrimoine familial, national et international, esthétique des paysages, lieux sacrés).

Le cacaoyer (*Theobroma cacao*) et les caféiers (*Coffea canephora* et *Coffea arabica*) sont des espèces de sous-bois. L'ombrage fourni par les autres espèces associées leur est donc naturellement favorable (régulation du microclimat, apport de matière organique). Mais l'ombrage peut aussi avoir des effets défavorables, en créant, par exemple, des conditions propices au développement de maladies. Ainsi, dans les cacaoyères agroforestières, l'ombrage réduit l'incidence d'insectes comme les mirides, mais il favorise la pourriture des cabosses. Dans les caféières agroforestières, l'ombrage prolonge la période de maturation des fruits, ce qui améliore la qualité du café, mais il réduit la production. C'est donc en réglant le niveau d'ombrage dans sa parcelle que l'agriculteur équilibre les effets favorables et défavorables liés à l'association d'arbres avec les cacaoyers ou les caféiers.



Caféiers en Côte-sous-le-Vent, Guadeloupe. © M. Dulcire/Cirad

... Pour améliorer leurs performances et leur durabilité

Le Cirad conduit des recherches dans plusieurs pays pour améliorer ces systèmes de culture multifonctionnels dont le maintien dépend des choix de gestion adoptés par les agriculteurs. Les performances des systèmes agroforestiers sont évaluées pour mieux comprendre les compromis que font les agriculteurs entre les produits et les différents services fournis par ces systèmes. Des voies d'amélioration sont testées en réponse à des contraintes et des objectifs spécifiques. Les travaux en cours visent à proposer des systèmes innovants dans un contexte d'intensification écologique et de changement climatique.

Il s'agit aussi de développer des outils et des méthodes pour d'une part, évaluer les services écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers et, d'autre part, concevoir des modèles d'associations agroforestières permettant de stabiliser, voire d'augmenter le revenu des ménages agricoles.

Comprendre et accompagner le développement de ces systèmes implique d'analyser les savoirs locaux, les stratégies et les pratiques des différents acteurs impliqués dans les filières du cacao et du café. La recherche s'intéresse aussi aux processus d'innovation, à l'évolution des filières et à l'impact paysager de l'agroforesterie.



Association caféier-érythrine, Costa Rica. © P. Vaast/Cirad

La recherche face aux changements

Le Cirad analyse la contribution de l'agroforesterie à la viabilité des systèmes d'activité des ménages dans un contexte de changement économique, climatique, et environnemental. L'analyse comparée des différentes histoires locales permet aux chercheurs de :

- ▶ mesurer l'impact de l'agroforesterie sur les économies familiales, le patrimoine foncier, l'environnement ;
- ▶ évaluer la flexibilité des systèmes d'activité familiaux face aux changements (diversification des productions, modes de gestion de la biodiversité, mise en œuvre de services pour l'environnement) ;
- ▶ questionner les modèles de développement promus par les politiques publiques

Partenaires

DP Agroforesterie Cameroun (Irad, universités de Dschang et de Yaoundé 1)

DP Agroforesterie Amérique Centrale (Catie, Incae, Biodiversity International, Promecafe, Cabi)

Cameroun : Irad, Institut de recherche agricole pour le développement

Costa-Rica : Catie, Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza

Côte d'Ivoire : CNRA, Centre national de recherche agronomique ; université de Cocody

Ghana : université Kwame Nkrumah

Kenya : Icrf, World Agroforestry Centre ; CRF, Coffee Research Foundation

Ouganda : université de Makerere

► En savoir plus

Vaast P. et al., 2015. Production de café et de cacao en agroforesterie : un modèle d'agriculture climato-intelligente. In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p 225-235.

Projet ASF4Food, L'agroforesterie au service de la sécurité alimentaire : <http://AFS4Food.cirad.fr>

Le bois

Une bio-énergie de substitution aux énergies fossiles



Sucrerie produisant sa propre électricité et une part de celle de la ville voisine à partir de biomasse, Tanzanie.
© R. Peltier/Cirad

Selon les experts internationaux, l'utilisation raisonnée du bois-énergie permettrait d'économiser l'émission de plus de 1 Gt de carbone par an. Cette perspective se traduit depuis 10 ans par un accroissement de la demande en bois-énergie à l'échelle mondiale. Les travaux du Cirad et de ses partenaires visent à gérer durablement la ressource en bioénergie, à développer de nouveaux usages et à moderniser les filières.

Contacts

Laurent Gazull,

Cirad, UPR BSEF, Biens et services des écosystèmes forestiers tropicaux Montpellier, France
laurent.gazull@cirad.fr
<http://ur-bsef.cirad.fr>

François Pinta

Cirad, UPR BioWooEB, Biomasse, bois, énergie, bioproduits Ouagadougou, Burkina Faso
francois.pinta@cirad.fr
<http://ur-biowoeb.cirad.fr>

Bois-énergie d'hier



Pépinière de wengé produisant du bois précieux et du bois-énergie, RDC. © R. Peltier/Cirad

De tout temps, la forêt et son bois ont été utilisés pour produire de l'énergie. Mais avec le développement des énergies fossiles aux XIX^e et XX^e siècles, la valorisation des forêts du monde a majoritairement pris d'autres formes : bois d'œuvre, bois de pâte et de panneaux, loisirs, services environnementaux, etc.

Dans les années 1980, au Nord comme au Sud, la plupart des politiques nationales visaient à réduire la consommation en bois-énergie. En Europe, par exemple, le faible prix des hydrocarbures et la sécurisation des approvisionnements en pétrole à la fin des années 1970 firent baisser la consommation en bois de feu à moins de 3 % de la consommation énergétique totale. Dans le même temps en Afrique, alors que la consommation en bois représentait en moyenne plus de 70 % de la demande en énergie, la plupart des gouvernements

s'engagèrent dans des politiques volontaristes visant à substituer le bois par du gaz ou du pétrole et à diminuer la consommation de bois par des foyers améliorés



Foyer traditionnel au Nord-Cameroun.
© R. Peltier/Cirad

Bois-énergie d'aujourd'hui

À l'orée des années 2000, le monde économique et politique a pris conscience de l'ampleur des changements climatiques et de la double nécessité, d'une part, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et, d'autre part, de stocker le plus de carbone possible sous forme de biomasse.

Le bois, ressource renouvelable, lorsqu'il est géré durablement, offre un bilan carbone neutre et permettrait, a priori, de répondre à ces deux défis. Ce regain d'intérêt se traduit depuis 10 ans par un accroissement de la demande en bois-énergie à l'échelle mondiale. Au Nord, cette demande correspond surtout à de nouveaux usages : chaleur industrielle et électricité. Au Sud, les usages domestiques (surtout la cuisson) restent prépondérants, mais de nouvelles demandes énergétiques apparaissent, notamment pour l'électricité en milieu rural.

Bois-énergie de demain

De nombreux experts dans le monde estiment que le bois-énergie représente un ensemble d'opportunités économiques, écologiques et énergétiques pour les pays du Sud comme du Nord. Selon la FAO et l'Agence internationale de l'énergie, l'utilisation raisonnée du bois-énergie permettrait d'économiser l'émission de plus de 1 Gt de carbone par an. Les gisements potentiels de bois sont en effet considérables à l'échelle de la planète. Pour autant, le gisement n'est pas la ressource. Pour que le bois devienne (ou redevienne) une ressource énergétique, il faut qu'il soit mobilisé, géré durablement, utilisé efficacement et que son exploitation soit socialement acceptée.



« Meule casamançaise » avec cheminée, Sénégal (rendement amélioré de 25 %). © R. Peltier/Cirad

Les voies de recherche

Actuellement, rares sont les forêts et les plantations exploitées dans le seul but énergétique. D'importants efforts de recherche sont nécessaires pour développer des modèles de plantations et de gestion durable des ressources naturelles (forêts et arbres hors forêt), pour augmenter l'offre et accroître l'efficacité énergétique des filières, afin de faire du bois une ressource énergétique



Au Sénégal, le charbon de bois reste l'énergie domestique la plus utilisée. © R. Peltier/Cirad

moderne aussi bien pour l'industrie, les collectivités et les particuliers.

Dans ce contexte global, le Cirad tente de répondre à plusieurs questions à différents niveaux :

- technologique : comment améliorer l'efficacité des technologies de production et de transformation du bois en énergie (carbonisation, gazéification, combustion, production électrique) ;
- écologique : quels modèles de plantations et d'exploitation inventer pour rendre l'utilisation du bois-énergie durable et neutre en termes d'émission de gaz à effet de serre (GES) ;
- socio-économique : quelles formes d'organisation des producteurs et des filières (plantations, marchés, transport, transformations, consommation, administrations) de manière à réduire les pertes en carbone et réduire les émissions de GES.



Centrale électrique de la ville d'Andaingo, alimentée par 60 ha de plantations d'eucalyptus, à Madagascar. © R. Peltier/Cirad

Partenaires

CIFOR, Center for International Forest Research, Cameroun et Burkina Faso ; **Fondation 2iE**, Institut international de l'eau, l'énergie et l'environnement, laboratoire biomasse énergie ; **université de Liège**, Gembloux AgroBioTech, Département BIOSE, Belgique ; **INRAN**, Institut national de la recherche agronomique du Niger ; **FOFIFA**, Centre national de la recherche appliquée au développement rural, Madagascar.

ONG : Debout Niger, Niger ; PARTAGE, Madagascar ; Cabinet IdSahel, Mali ; etc.

Industriels de l'énergie : TOTAL S.A. ; EDF - mission d'accès à l'énergie ; Lafarge S.A.

► En savoir plus

Gazull L., Gautier D., 2014. Woodfuel in a global change context. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment. doi:10.1002/wene.115.

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Stratégies et politiques sanitaires dans le contexte d'« une seule santé »



En route vers le lac, Burkina Faso.
© D. Louppe/Cirad

L'adaptation des stratégies et des politiques sanitaires au changement climatique s'inscrit dans un contexte plus large de mutations globales : demande croissante en produits d'origine animale, globalisation des échanges, impact de multiples déterminants environnementaux, socio-économiques et climatiques sur la santé humaine et la santé animale. Ces facteurs amplifient les risques d'émergence, de diffusion et de maintien de maladies parasitaires et infectieuses animales et zoonotiques.

Contact

François Roger

Cirad, UPR AGIRs, Animal
et gestion intégrée des risques
Montpellier, France
Bangkok, Thaïlande
francois.roger@cirad.fr

<http://ur-agirs.cirad.fr>

Des modifications environnementales

Le climat et ses variations ont un impact sur les pathogènes (résistance, sélection, etc.), les hôtes (immunité, déplacements dont migrations, etc.), les vecteurs (niches écologiques, capacité vectorielle) et les dynamiques épidémiologiques. Le climat peut également influencer et modifier les taux de transmission et les voies de dispersion de pathogènes, les réseaux de contact entre individus, entre espèces différentes, les structures des communautés et les modes d'élevage, mais aussi la biodiversité et son rôle ambivalent sur l'émergence de maladies.

Les maladies les plus sensibles au climat sont les parasitoses, les maladies vectorielles ou les maladies infectieuses transmises par l'eau ou les micromammifères. Plusieurs de ces maladies peuvent survenir simultanément lors d'événements climatiques extrêmes. Enfin, ces maladies sont fréquemment des zoonoses, « infection ou infestation naturellement transmissible de l'animal à l'homme et *vice versa* » (OMS).

Des risques plus importants de transmission entre l'animal et l'homme

Les changements climatiques peuvent favoriser les contacts entre faune sauvage et populations humaines en modifiant les habitats naturels des animaux réservoirs



A la ferme, Vietnam. © JC. Maillard/Cirad

de pathogènes et en agissant sur les déplacements de ces animaux. Ils peuvent augmenter l'insécurité alimentaire, qui peut conduire à des modifications de comportements, en particulier la recherche de sources de nourriture alternatives, comme la viande de brousse.

L'épidémie d'Ebola en Afrique de l'Ouest témoigne ainsi particulièrement de la nécessité et de l'urgence à renforcer la détection et la gestion précoces des émergences de zoonoses, et à déterminer les conditions de transmission inter-espèces.



Rencontre phacochère bétail.
© A. Caron/Cirad

Des structures sanitaires à renforcer

L'impact du changement climatique sur les systèmes de santé, progressif ou brutal, lors d'événements extrêmes, peut être direct, par la désorganisation des réseaux sociaux, et indirect, par l'augmentation de l'occurrence de maladies. Le climat et ses variations peuvent ainsi perturber les structures sanitaires et limiter l'accès des populations humaines et animales aux systèmes de santé. L'analyse, la modélisation et la gestion des risques réalisées dans le cadre global d'« une seule santé » (*One Health, EcoHealth*) ont pour objectif de mettre en œuvre des stratégies et des politiques sanitaires adaptées aux modifications du climat. Il s'agit principalement de renforcer les interactions entre secteurs – environnemental, médical et vétérinaire – et la communication transversale entre scientifiques, gestionnaires et publics concernés.

Les systèmes de santé animale sont structurellement sous-dotés dans les pays les moins avancés où ils subissent, plus qu'ils n'anticipent, les conditions et les variations climatiques. Il existe pourtant un réel potentiel pour développer des systèmes d'alerte précoce fondés sur des informations de variations climatiques, et pour améliorer ainsi la gestion des épidémies. Mais généralement, les données sanitaires, environnementales et climatiques ne sont pas collectées simultanément. Une coopération mieux construite des systèmes de surveillance sanitaire avec les institutions et les centres de recherche sur le climat (CNES, NASA, etc.) faciliterait la collecte convergente des données sur les maladies et les paramètres climatiques.

Une stratégie à développer avec tous les acteurs

Dans le contexte « une seule santé », la démarche générale proposée est la suivante :

- prioriser les maladies en lien avec les variations climatiques à l'aide de méthodes classiques (dires d'experts) ou innovantes (h-index) ;
- analyser les risques et établir des cartes de risques ;
- combiner aux cartes de prédiction des risques des cartes de vulnérabilité des populations humaines et animales ;
- prioriser les zones et populations à cibler pour intervenir : prévention, surveillance, contrôle ;
- adapter et renforcer les systèmes de santé et la surveillance et le contrôle des maladies ;
- proposer des politiques et des réglementations sanitaires adaptées et flexibles.

L'éducation, la formation et la sensibilisation de professionnels de la santé et de scientifiques dans le domaine d'« une seule santé » sont également un moyen de renforcer ces approches globales en y intégrant la dimension climatique.



Formation aux maladies liées aux rongeurs
maladies en Asie (Projet ANR : CNRS-Cirad).
© J. Thanarotewanata/
Grease

...pour accroître la prévention et le suivi des épidémies

Il est possible, par des mesures d'adaptation, d'accroître la résilience des secteurs de l'élevage et de la santé et des territoires face aux maladies climato-sensibles. Cette adaptation passe par la priorisation des maladies, l'évaluation des risques, puis par des méthodes de réduction des risques (surveillance, prévention et contrôle), dans le contexte d'une seule santé. Elle doit être soutenue par une législation *ad hoc*.



Campagne de vaccination en ferme
semi-commerciale, Vietnam.
© Phan Dang Thang/Cirad

Partenaires

Centres de recherche et universités

France : AFD, Agence française de développement ; ANSES, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail ; CNRS ; ENVT, Ecole nationale vétérinaire de Toulouse ; Inra, Institut Pasteur, IRD.

Pays : Fofifa, Madagascar ; universités de Kasetsart, Thaïlande ; de Pretoria, Afrique du Sud ; du Zimbabwe.

International

WCS, Wildlife conservation Society ; OIE, Organisation mondiale de la santé animale ; FAO, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture ; OMS, Organisation mondiale de la santé.

Réseaux

Afrique australe : RP-PCP, Produire et conserver en partenariat (<http://www.rp-pcp.org>),

Asie du Sud-Est : GREASE, Maladies émergentes en Asie du Sud-Est (<http://www.grease-network.org>)

Caribbe : CaribVET (<http://www.caribvet.net/fr>)

Madagascar : F&B, Forêts et Biodiversité (<http://www.forets-biodiv.org>)

Océan Indien : Réseau AnimalRisk (<http://www.animalrisk-oi.org>)

➤ En savoir plus

Roger F. et al., 2015. Le concept « Une seule santé » pour mieux articuler politiques sanitaires et changement climatique. In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p.225-235.

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Les services écosystémiques



Concertation au Cameroun
© R. Peltier/Cirad

Des instruments économiques et politiques uniques

Tout au long de son histoire, le développement économique s'est souvent caractérisé par une dégradation des écosystèmes, accélérée depuis les années 1970. Pourtant, les écosystèmes sont le support premier de la vie sur terre et contribuent au bien-être humain : c'est pour démontrer cela que la notion de

service écosystémique a été élaborée

dans les années 1990. Dans un monde où

plus de 6 milliards d'êtres humains cherchent à se nourrir et à développer leurs espoirs d'une vie meilleure, le Cirad se doit de soulever un défi majeur : comment assurer une production agricole et animale adaptée à la demande tout en conservant les écosystèmes qui assurent le fondement de leur existence ? Un des domaines de travail du Cirad pour répondre à cette question est la recherche sur les services écosystémiques.

Contacts

Denis Pesche
Cirad, UMR ART-DEV,
denis.pesche@cirad.fr

Driss Ezzine de Blas
Cirad, UR BSEF
ezzine@cirad.fr

Aurélié Botta
Cirad, UPR GREEN
aurelie.botta@cirad.fr

Céline Dutilly-Diane
Cirad, UMR SELMET
celine.dutilly-diane@cirad.fr

Muriel Bonin
Cirad, UMR TETIS
muriel.bonin@cirad.fr

Un enjeu environnemental, économique et politique

La notion de service écosystémique a été développée pour répondre au besoin de mieux comprendre l'interdépendance entre les écosystèmes et la société. Les services écosystémiques sont définis comme les bénéfices que les êtres humains tirent des écosystèmes. Par exemple, les feuilles et les racines des arbres qui retiennent l'érosion limitent la perte de diversité et maintiennent la bonne qualité des eaux de rivière, en diminuant les coûts de traitement de l'eau. Les forêts tropicales participent à la formation des précipitations régionales en Amazonie, dans le Bassin du Congo et dans les forêts indonésiennes. La biodiversité génétique est source de médicaments, participe au contrôle des maladies et conserve un potentiel génétique pour le futur.

Naturellement, l'objectif de cette approche par les services écosystémiques n'est pas de restreindre la nature à un rôle de support pour l'humanité. Au contraire, l'approche par les services écosystémiques permet de développer une approche interdisciplinaire où les aspects liés à la gouvernance socio-économique



Récolte d'écorce de *Diospyros mespiliformis*,
arbre aux multiples propriétés médicinales,
Côte d'Ivoire. © D. Louppe/Cirad

et à la connaissance des processus biophysiques sont pris en compte de façon articulée, permettant de mettre en œuvre des stratégies au niveau national, régional et local, et ceci pour tout type d'acteurs.

L'interdisciplinarité, source d'excellence

Le caractère unique du Cirad, tant dans son histoire, dans le profil professionnel et thématique de ses activités (agriculture, développement, conservation) que dans son partenariat à l'international, lui permet de mobiliser une expertise scientifique et des solutions techniques à la fois dans le biophysique et dans le socio-économique. Cette expertise est adaptée aux différentes échelles sociales et spatiales nécessaires pour apporter des solutions aux questions de conservation et de développement en milieu tropical. Elle est organisée autour de trois axes principaux :

► L'évaluation, la conservation et la restauration des services écosystémiques.

Des approches intégrées sont développées pour aborder les processus d'érosion et le maintien de la fertilité des sols ; la mesure du carbone et des flux de carbone dans les forêts tropicales, agroforêts, et autres systèmes de culture (dont les plantations) ; la régulation hydrologique des forêts et des agrosystèmes ; l'utilisation de la biodiversité pour la gestion des ravageurs. Ces avancées scientifiques assoient les bases d'itinéraires techniques innovants pour améliorer la production agricole et forestière (projets : Acaciagum, TropSoil&Biol&Fertility, Funcitree, Innovkar, Intensifix, Floresta em Pê, Floagri...).

► L'analyse des politiques et instruments de promotion des services écosystémiques.

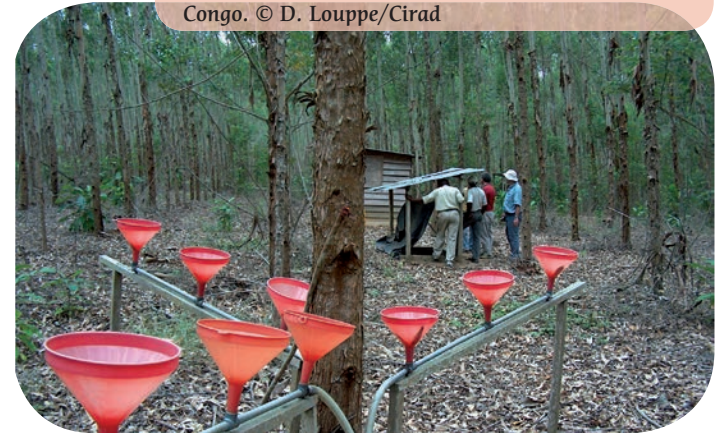
Le Cirad possède une expertise internationale dans l'analyse des enjeux scientifiques et politiques autour de la notion de service écosystémique : formulation et mise en œuvre des politiques environnementales et de développement rural pour la promotion des services environnementaux ; outils méthodologiques appliqués à la mesure multicritère de l'impact socio-économique et environnemental de ces politiques. Il étudie aussi les réseaux d'acteurs qui participent à la promotion de cette approche, leurs alliances et les transformations que cela induit dans les arènes internationales et dans le secteur de l'aide publique pour le développement (projets : Serena, Pesmixon, Invaluable, Payer pour l'environnement ?, Prigou, Impact certification...).

► La modélisation et la prospective.

L'interface science-politique est un axe prioritaire pour le Cirad. A cet effet, le Cirad étudie les systèmes socio-écologiques à l'origine du maintien et de la restauration des services écosystémiques. Il approfondit et explore les fonctionnements et les dynamiques de ces systèmes grâce à des outils de modélisation et des techniques participatives et prospectives (projets : EcoAdapt, Regreening Sahel, Prospective Bassin du Congo, Spiral...).



Evaluation des services écosystémiques des agro-paysages en forêt de montagne © D. Ezzine-de-Blas/Cirad



Dispositif d'étude des écoulements d'eaux de pluies, Congo. © D. Louppe/Cirad

Une démarche indispensable à la gestion durable des agroécosystèmes

Cette expertise à l'interface entre recherche finalisée et fondamentale permet au Cirad de contribuer à la définition et à la mise en œuvre de nouveaux itinéraires techniques, à la formulation de guides de bonnes pratiques et à la conception de plans de gestion des agroécosystèmes à l'échelle locale, régionale et internationale.

Partenaires

Le Cirad est engagé dans de nombreux projets en partenariat sur tous les continents.

► En savoir plus

M. Pedrono *et al.*, 2015. Les services écosystémiques face au changement climatique. In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p 236-245

Quelques sites web de projets :

<http://inco-acaciagum.cirad.fr>
<http://inco-innovkar.cirad.fr>
<http://www.serena-anr.org>
<http://pesmix.cirad.fr>
<http://www.programme-repere.fr>
<http://www.afriseb.net>

L'analyse de cycle de vie

Elucider les liens entre agriculture et environnement



Définir les systèmes
et détailler les pratiques
avec les producteurs
© C. Bessou/Cirad

L'Analyse de cycle de vie (ACV) permet d'évaluer les impacts environnementaux des activités anthropiques tout au long d'une filière. Dans le cas des systèmes de culture tropicaux, les travaux des chercheurs visent à comprendre et à modéliser les émissions vers l'environnement, puis les liens entre ces émissions et leurs impacts en fonction de la diversité des systèmes. Les ACV des systèmes de culture révèlent que l'impact sur le changement climatique varie grandement selon les cultures, les milieux et les pratiques.

L'ACV permet d'orienter les modes de production pour diminuer leurs impacts environnementaux. Mais les choix ne sont pas toujours évidents.

Contacts

Cécile Bessou

Cirad, UPR Systèmes de pérennes,
Montpellier, France
cecile.bessou@cirad.fr
<http://ur-systemes-de-perennes.cirad.fr>

Cellule ACV, Cirad
Montpellier, France
lca@cirad.fr

Un cadre simple pour un condensé de défis scientifiques

L'analyse de cycle de vie repose sur un cadre conceptuel qui définit les impacts environnementaux d'un produit comme la résultante linéaire, tout au long de la chaîne de production, de la contribution à divers impacts des ressources utilisées et des substances émises. La méthodologie qui en découle comprend quatre étapes normées (ISO 14040 2000-6) :

- définition des objectifs de l'étude et du système ;
- inventaire des flux entrant et sortant du système ;
- caractérisation des impacts ;
- interprétation des résultats.

L'ACV pose divers défis aux scientifiques pour :

- définir un système représentatif de la fonction étudiée en intégrant la variabilité des pratiques et des conditions pédoclimatiques ;
- modéliser les processus biogéochimiques, aux interfaces sol-plante-atmosphère, et les mécanismes de transfert qui sont à l'origine d'émissions vers l'environnement ;

- caractériser les chaînes d'impact reliant émissions et impacts environnementaux ;
- allouer les impacts aux divers produits, notamment dans des rotations culturales ou des systèmes agroforestiers ;
- analyser les résultats et leurs incertitudes pour orienter les modes de production vers des systèmes agroécologiques.



Systèmes agroforestiers cacaoyer-palmier-cocotier :
des systèmes et des flux complexes.
© T. Tran/Cirad



Quels résultats pour les cultures tropicales ?

Jatropha © A. Benoist/Cirad

Depuis 2009, le Cirad développe une base de données ACV-Cirad© sur des produits des pays du Sud : huile de palme, café, riz, *Jatropha*, coton, tomate, viande bovine.... Les résultats d'ACV permettent de préciser les pratiques et conditions à l'origine d'émission de gaz à effet de serre (GES) et de les améliorer.

Au Mali et au Burkina Faso, les chercheurs ont accompagné leurs réflexions sur le développement de *Jatropha curcas* comme culture énergétique par une évaluation environnementale fondée sur l'ACV. Ces travaux indiquent que dans le contexte ouest-africain, la réponse en rendement de *Jatropha curcas* aux fertilisants serait assez faible, de sorte que les émissions de GES supplémentaires dues à l'apport de fertilisants ne seraient pas compensées par l'amélioration du rendement.

En Asie et en Amérique latine, une étude sur les bilans de GES de l'huile de palme montre clairement le risque quasiment prohibitif, d'établir des plantations sur tourbes. De plus, des économies de GES sont possibles en plantant sur des terres dégradées ou des prairies, en capturant le méthane émis lors du traitement des effluents ou en optimisant les apports d'engrais.



Épandage d'effluents dans une palmeraie. © C. Bessou/Cirad.



Rizières inondées © C. Bessou/Cirad.

En Thaïlande, une étude ACV sur le riz a souligné le rôle déterminant du mode de gestion de l'irrigation pour les émissions de méthane. Ainsi, il est recommandé d'introduire dans le système des périodes d'assèchement temporaire et de limiter les apports d'urée, qui sont une autre source d'impact environnemental : fractionnement, et enfouissement des fertilisants sont recommandés pour limiter les émissions de GES.



Tomates sous serre. © D. Grasselly/CTIFL.

En France, l'ACV permet de comparer les impacts des produits agricoles en fonction de leur origine. Ainsi, il n'existe pas de réponse tranchée entre la production de tomate de bouche en France et son importation du Maroc : importer la tomate du Maroc minimise l'impact sur le réchauffement climatique, mais maximise l'impact

sur la ressource en eau. Ceci montre l'importance de considérer toutes les catégories d'impact afin de ne pas manquer un transfert de pollution, mais illustre la difficulté de certains choix.

Partenaires

Terrain

PT Smart, Indonésie

Life Cycle Sustainability Assessment Lab, Thaïlande

Projets

Ademe SOCLE, Ademe AGRIBALYSE, ANR SPOP

Réseaux

ELSA : <http://www1.montpellier.inra.fr/elsa>

Chaire industrielle ELSA-PACT (Irstea)

Indonesian LCA Network : <http://indonesian-lca-network.org>

Asia LCAagrifood network : <http://lcaagrifoodasia.org>

► En savoir plus

Bessou C. et al., L'analyse de cycle de vie pour élucider les liens entre agriculture et changement climatique. In: Torquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p 246-256

Voir aussi : <http://publications.cirad.fr>

Perspectives

Les connaissances et compétences du Cirad en ACV sont transférées aux partenaires du Sud via des formations et des expertises. Les chercheurs contribuent également à la forte dynamique ACV au sein des communautés scientifiques nationales et internationales.

Au-delà des impacts environnementaux, la prise en compte des impacts sociaux et économiques d'une filière est aussi indispensable pour orienter les choix de développement. Elle fait l'objet de recherches au Cirad. Enfin, malgré toutes les questions que pose l'amélioration de l'ACV, elle reste l'une des méthodes les plus complètes et cohérentes pour estimer les impacts des activités humaines sur l'environnement, et notamment sur le changement climatique.

Le Cirad, en bref

Le Cirad est un centre de recherche français qui répond, avec les pays du Sud, aux enjeux internationaux de l'agriculture et du développement. Ses activités relèvent des sciences du vivant et des sciences humaines et sociales appliquées à l'agriculture, à l'alimentation et aux territoires ruraux. Le Cirad s'engage au plus près des hommes et de la Terre sur des défis complexes et changeants : sécurité alimentaire, gestion des ressources naturelles, inégalités et lutte contre la pauvreté.

Le Cirad dispose d'un réseau mondial de partenaires et de 12 directions régionales, à partir desquelles il mène des activités de coopération avec plus de 100 pays. Ses partenariats bilatéraux s'inscrivent dans des dynamiques multilatérales d'intérêt régional. En France, il met à la disposition de la communauté scientifique nationale et internationale un important dispositif de recherche et de formation situé principalement à Montpellier et dans l'outre-mer français.

Le Cirad, c'est :

1650 agents dont 800 chercheurs (environ 300 en poste dans la zone tropicale), près de 5 millions d'euros consacrés à la formation doctorale, plus de 400 doctorants encadrés chaque année, dont 60% originaires d'un pays du Sud, 800 chercheurs et techniciens du monde entier accueillis et formés chaque année, un budget annuel de 203 millions d'euros en 2015....



42 rue Scheffer . 75116 Paris . France

www.cirad.fr

Innovons ensemble pour les agricultures de demain